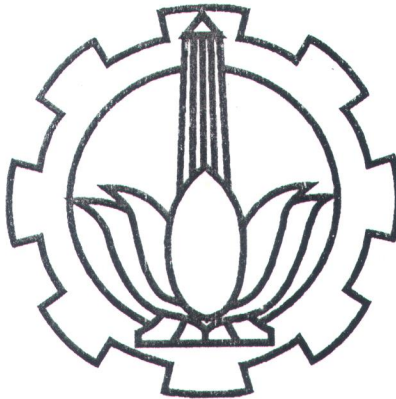


099010889

## TUGAS AKHIR (NA. 1701)

**GARUH PREHEATING TERHADAP SIFAT MEKANIK  
DARI HASIL PENGELASAN BESI COR KELABU**



RSPe  
623.843 2  
Roc  
p-1  
1996

Oleh :

**ROCHIMIN**

Nrp. 4191100008



# JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

## FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

---

### SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 34 /PT12.FTK2/M/1995

Nama Mahasiswa : Rochimin .....  
Nomor Pokok : 4914100378 .....  
Tanggal diberikan tugas : 21 September 1995 .....  
Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1996 .....  
Pembimbing : 1. Ir. Soewefy, M.Eng .....  
2. ....

---

Judul tugas akhir yang diberikan :

PREHEATING TERHADAP SIFAT MEKANIK DARI HASIL PENGELASAN BEST COR KELAB

# **PENGARUH PREHEATING TERHADAP SIFAT MEKANIK DARI HASIL PENGELASAN BESI COR KELABU**

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan  
Untuk menyelesaikan program S-1 Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

**Mengetahui/menyetujui  
Dosen Pembimbing**

## ABSTRAK

Dari analisa hasil pengelasan besi cor kelabu, maka kualitas dari lasan banyak dipengaruhi oleh pendinginan logam las dan HAZ. Proses las yang dilanjutkan dengan proses pendinginan yang lambat akan memberi hasil yang berbeda dengan proses pendinginan yang cepat. Proses pendinginan dengan kecepatan pendinginan tinggi biasanya akan mengakibatkan timbulnya retak dingin dan struktur mikro yang terbentuk mempunyai sifat keras dan rapuh. Untuk mendapatkan struktur mikro yang lebih lunak dan lebih ulet dapat dilakukan pemberian panas mula (preheating). Pemberian panas yang dilakukan sebesar 225 F, 400 F dan 600 F. Pemberian panas mula sebesar 600 F memberikan hasil yang optimal, yaitu nilai kekerasan sebesar 265,5 BHN pada HAZ.



# DAFTAR ISI

R PERSETUJUAN

R PENGESAHAN

K

ISI

GAMBAR

TABEL

ENDAHULUAN 1

Latar belakang ..... 1

Tujuan..... 2

Permasalahan..... 2

Metodologi..... 2

Batasan masalah..... 3

KLASIFIKASI BESI COR 4

Besi cor kelabu..... 4

Besi cor putih..... 6

Besi cor mampu tempa..... 7

2.2 HAZ.....	13
2.3 Timbulnya martensit.....	13
2.4 Adanya tegangan.....	14
2.5 Adanya retak.....	14
METALURGI LAS BESI COR.....	18
Struktur logam.....	18
Proses pertumbuhan besi cor.....	21
Ukuran dan distribusi serpihan grafit.....	24
Transformasi pada saat pemanasan.....	25
Transformasi pada saat pendinginan.....	28
Struktur lasan.....	32
4.6.1 Weld metal.....	33
4.6.2 HAZ.....	33
4.6.3 Base metal.....	33
Perlakuan panas sebelum pengelasan.....	33
PERCOBAAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN.....	36
Besi cor kelabu yang digunakan.....	36
Elektroda yang digunakan.....	36
Pembuatan spesimen.....	37

ANALISA	45
Pengaruh preheating pada daerah pengaruh panas.....	45
Pengaruh preheating pada sifat mekanik.....	50
2.1 Pengaruh preheating pada kekerasan.....	50
2.2 Pengaruh preheating pada ukuran dan distribusi grafit.....	51
Statistika data.....	51
Analisa.....	57
4.1 Analisa perubahan struktur mikro dan sifat mekanik pada daerah lasan.....	57
4.2 Analisa keterkaitan struktur mikro dan sifat mekanik.....	58
4.3 Analisa keterkaitan struktur mikro, sifat mekanik dan perlakuan panas.....	60
KESIMPULAN DAN SARAN	61
AN A	63
AN B	64
PUSTAKA	68

## DAFTAR GAMBAR

2.1 Besi cor kelabu menunjukkan serpihan grafit.....	5
2.2 Besi cor putih memperlihatkan butiran perlit di antara sementit.....	7
2.3 Struktur besi cor mampu tempa.....	8
2.4 Kurva yang menunjukkan suhu annealing.....	9
2.5 Struktur besi cor nodular.....	10
3.1 Retak dingin.....	15
4.2a Tipe struktur elemen kristal FCC.....	19
4.2b Tipe struktur elemen kristal BCC.....	20
4.2c Tipe struktur elemen kristal HCP.....	21
4.3 Diagram keseimbangan besi-karbon.....	21
4.4 Skema mikrostruktur besi cor.....	23
4.5 Bentuk dan ukuran grafit standart AFS dan ASTM.....	26
4.6 Diagram transformasi untuk pemanasan kontinyu.....	27
4.7 Diagram I-T pada baja eutektik.....	29
4.8 Diagram CCT pada baja eutektik.....	31
4.9 Bentuk dari pengelasan.....	32

6.2 Fase pada fusion line dan HAZ pada spesimen 2.....	47
6.3 Fase pada fusion line dan HAZ pada spesimen 3.....	48
6.4 Fase pada fusion line dan HAZ pada spesimen 4.....	49
n B.....	64

## DAFTAR TABEL

1	Komposisi kimiawi besi cor dalam %.....	4
1	Ukuran dan serpihan grafit.....	25
1	Temperatur untuk preheating.....	39
3	Statistiska data.....	52 - 55
n A.....		63

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Allah SWT yang maha pengasih lagi maha ayang, dengan ijinnya maka saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul pengaruh preheating terhadap sifat mekanik dari hasil pengelasan besi cor kelabu " .

Penyusunan tugas akhir ini sebagai usaha kami dalam memenuhi kurikulum ada di jurusan teknik perkapalan FTK-ITS guna meraih gelar kesarjanaan strata (S-1). Kami menyadari dalam penyusunan tugas akhir ini banyak melibatkan pihak-pihak yang terkait.

Dalam kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang terkait antara lain :

1. Kedua orang tua kami beserta saudara kami yang telah banyak memberikan dukungan moral maupun material.
2. Ir. SOEJITNO, sebagai ketua jurusan teknik perkapalan yang telah memberikan kemudahan selama belajar di ITS.
3. Ir. SOEWEIFI, sebagai dosen pembimbing selama penyusunan tugas akhir.
4. Ir. MAHARDJO WARTONO, sebagai dosen wali.
5. SUDARIYANTO, karyawan PT. PAL yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

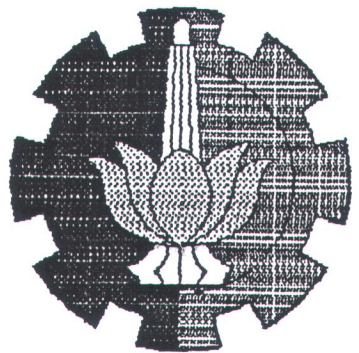


8. Teman-teman yang banyak memberikan bantuan selama ini.

Tugas akhir yang disusun penulis masih jauh dari sempurna, hal ini disebabkan pasatan yang ada pada penulis baik dari segi materiil maupun moral. Kritik dan yang bertujuan membangun dari pihak-pihak yang terkait dengan buku tugas akhir dengan senang hati penulis harapkan adanya. Demikian yang dapat penulis uraikan mengucapkan syukur alhamdulillah atas kelancaran semua ini.

Surabaya, Juli 1996

Penulis



**RRI**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Besi cor adalah bahan yang banyak dipergunakan dalam bidang industri, misalnya produk-produk industri yang memerlukan desain, seperti : blok silinder, motor, dan lain-lain. Karena suhu cairnya relatif rendah ( $1200^{\circ}\text{C}$ ), maka besi cor mudah dicairkan, sehingga pemakaian bahan bakar lebih irit dan dapur peleburan lebih sederhana. Logam cair mudah dicor karena dapat mengisi cetakan yang rumit dengan sempurna.

Namun dalam banyak hal perlu dilakukan pengelasan pada hasil coran, baik untuk memperbaiki hasil cor yang tidak sempurna, reparasi hasil coran yang mengalami kerusakan setelah dipakai, dan produksi perakitan di assembly. Kandungan karbon besi cor (2 - 4,3%) dan silikon (1 - 3%) menyebabkan kekerasan dan kegetasan tinggi namun mempunyai kekuatan tarik dan keuletan rendah. Dengan adanya sifat-sifat di atas, besi cor peka terhadap retak dan mempunyai kemampuan las yang lebih rendah dibanding logam lain.

an penulisan dalam buku ini adalah :

hui temperatur preheating yang sesuai untuk mendapatkan hasil lasan baik, dimana kekerasan daerah lasan (weld metal, HAZ) mendekati kekerasan logam

hui pertumbuhan fase yang terjadi apabila ditinjau dari struktur mikro untuk lasan dalam kaitannya dengan penggunaan temperatur preheating yang berbeda.

salahan

nasalahan-permasalahan yang ada selama ini adalah :

g sangat diperlukan dalam pengelasan besi cor, hal ini disebabkan sifat mampu tang sangat rendah sehingga menyebabkan sensitif terhadap retak.

ri pengecoran besi cor yang tidak sempurna, dimana permukaan coran tersebut banyak lubang yang terisi pasir, sehingga dalam perbaikan perlu diperhitungkan ekonomis daya yang terserap untuk preheating.

ologi

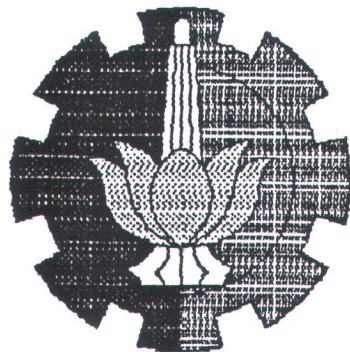
Hasil-hasil yang didapatkan tersebut akan dibandingkan untuk mengetahui suhu pendinginan yang baik apabila dilakukan pemanasan mula pada pengelasan besi cor, bila dibandingkan dengan kekerasan yang mendekati kekerasan logam induk.

### Batasan Masalah

Dalam pembahasan dan penelitian pada problematika ini perlu diberikan suatu batasan masalah. Hal ini dengan pertimbangan keterbatasan waktu yang tersedia agar lebih mengena pada sasaran.

Beberapa hal yang menyangkut batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Spesimen uji adalah besi cor kelabu.
2. Perlakuan panas akhir adalah sama, yaitu dengan menutupi spesimen dengan asbes setelah selesai pengelasan.
3. Bentuk sambungan adalah sambungan tumpul (butt joint).
4. Pengujian yang dilakukan adalah Brinell Hardness dan uji mikrografi.



## **BAB II**

# **KLASIFIKASI BESI COR**

## BAB II

### KLASIFIKASI BESI COR

Besi cor adalah paduan besi karbon dengan kadar C lebih dari 2% dan masih ada bahan unsur lain seperti : Si, Mo, P, S, dan lain sebagainya. Tipe utama besi cor ada empat : besi cor kelabu (gray cast iron), besi cor mampu tempa (malleable cast iron), besi cor nodular (nodular cast iron), dan besi cor putih (white cast iron). Besi cor kelabu adalah yang terbanyak, dimana material tersebut dapat dilaskan. Besi cor malleable dan besi cor nodular dapat juga dilas, namun harus mendapat perlakuan panas setelah pengelasan untuk mengembalikan tegangan normal dan keuletannya. Sedangkan besi cor putih umumnya tidak dapat dilas dengan seksama.

	Mn	C	Si	S	P
Gray iron	1,0 max	2,0 - 4,0	1,0 max	0,2	0,6
Malleable iron	0,25 - 1,25	2,0 - 3,0	0,9 - 1,8	0,2 max	0,2 max
Nodular iron	0,8 max	3,2 - 4,1	1,8 - 2,8	.03 max	0,1 max
White iron	0,3 - 0,8	2,5 - 4,0	0,4 - 1,6	0,15	0,4

Tabel 2.1 Komposisi kimiawi besi cor dalam % { Ref. 1 }

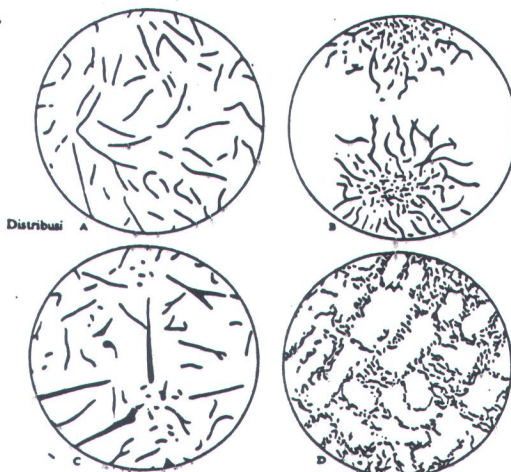
#### Besi Cor Kelabu

Material tipe ini paling umum dari besi cor dan dapat dilaskan tanpa perlakuan panas.



iliki komposisi yang sama dengan besi pada umumnya, namun memiliki kekuatan kekerasan yang lebih baik. Pengaruh takik dari serpihan graphit adalah faktor utama m mengurangi kekuatan tarik, dan keuletannya. Dalam besi cor yang ulet graphit ah dalam bentuk spheroid (bulat), dimana dapat meminimumkan pengaruh takik dengan demikian dapat menghasilkan suatu produk yang mengkombinasikan atatan dan keuletan besi cor dengan biaya rendah bila ditinjau secara ekonomis. edaan pokok dalam komposisi antara besi cor kelabu dengan besi pada umunya ah sejumlah kecil magnesium atau cerium. Unsur ini yang menyebabkan graphit m bentuk spheroid. Kadar silikon mempunyai efek kekasaran pada serpihan graphit.

Struktur besi cor kelabu menunjukkan distribusi dari serpihan graphit menurut *American Castings Association (AWS)* seperti di bawah ini :

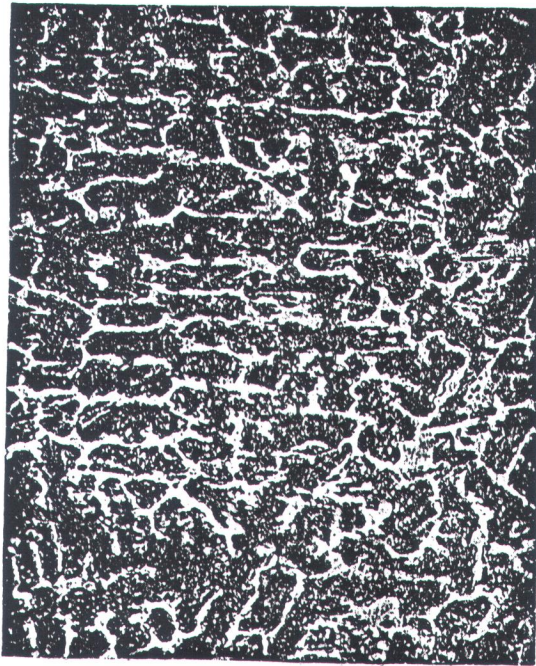


adalah struktur yang paling disenangi karena besi cor ini menunjukkan serpihan grafit yang mempunyai panjang medium terdistribusi sebarang. B biasanya terdapat di sekitar permukaan coran dimana laju pendinginan agak cepat, disini pusat dari sel eutektik menyebabkan butir grafit yang halus karena pendinginan cepat dan disekelilingnya dilanjutkan dengan serpihan grafit. Struktur ini dinamakan struktur bergrafit bunga ros. Pada grafit C, primer mengkristal secara kasar dalam hal ini hipereutektik akan memberikan sifat-sifat mekanis yang rendah. Pada D disebabkan adanya pendinginan yang sangat cepat pada waktu pembekuan semua grafit menjadi halus. Ini dinamakan struktur eutektik atau grafit panas lanjut, sehingga besi cor mempunyai kekuatan tinggi dan lebih kurang ulet. E biasanya timbul kadar karbon kurang, grafit terdistribusikan dalam matriks antara austenit primer yang besar-besar. Keuletannya sangat rendah seperti halnya B. Distribusi grafit semacam ini terutama dipengaruhi oleh adanya komponen lain selain karbon pada C serta laju pendinginan pada waktu pembekuan. Selanjutnya struktur matriks yang terdiri dari ferrit dan perlit ada pada perbandingan yang berbeda-beda tergantung pada laju pendinginan pada waktu temperatur transformasi eutektik.

### Besi Cor Putih

Tipe besi cor ini adalah suatu material yang sangat keras, dihasilkan dengan pendinginan leburan logam. Proses pendinginan menyebabkan perubahan struktur mikro.

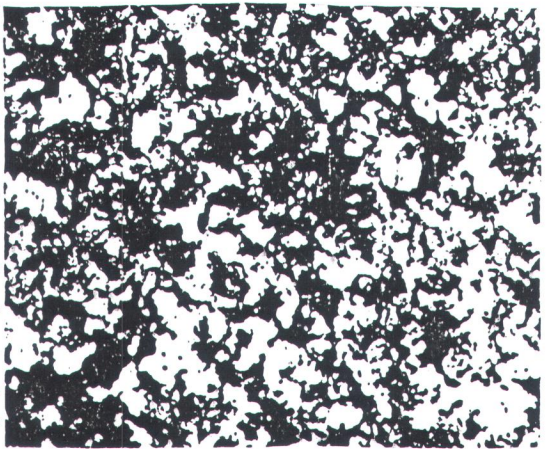
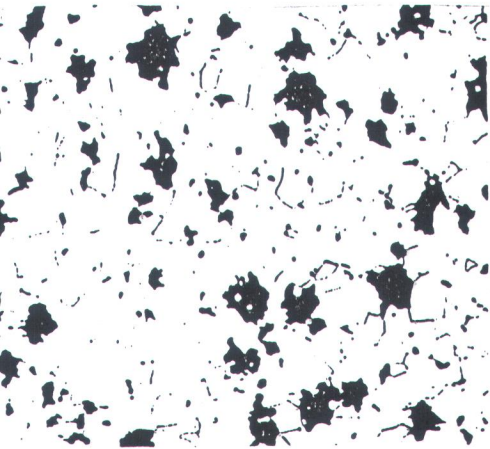
mpunyai sedikit silikon dari besi cor kelabu ). Bagian yang mengalami pendinginan at menjadi sangat keras dan sukar dilakukan dalam pengerjaan mesin seperti : bubut, rap, bor, dal lain-lain. Besi cor putih jarang digunakan sebagaimana coran, kecuali uk bagian-bagian seperti : roll gilingan dan cetakan. Biasanya coran tersebut sebagai gkah awal pembuatan besi cor malleable.



Gambar 2.2 Besi cor putih hypoeutektik  
memplihatkan butiran perlit  
diantara sementit



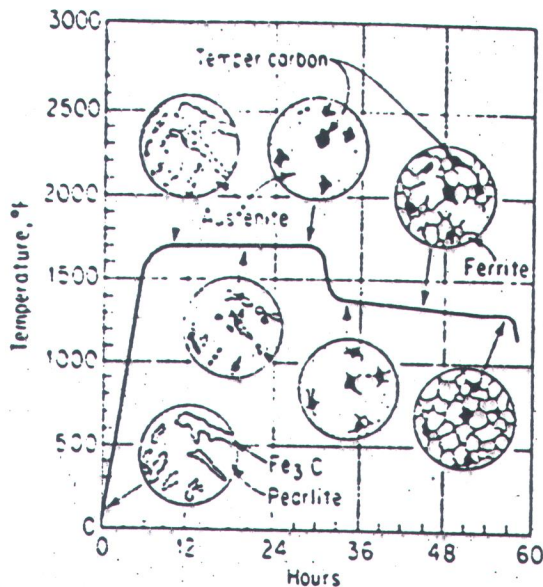
as dari besi cor kelabu dan mempunyai sejumlah nilai kekuatan dalam proses pendinginan. Waktu besi cor mampu tempa dilas, mamfaat perlakuan panas untuk menghindari kerusakan daerah sekitar lasan sewaktu pendinginan mendadak dari temperatur pengelasan. Daerah campuran ini kembali ke keadaan semula sewaktu besi didinginkan dan harus mendapat perlakuan panas lagi untuk mengembalikan ke keadaan malleable. Besi cor mampu tempa menurut struktur digolongkan menjadi besi mampu tempa perapian putih dan perapian hitam.



[a]

[b]

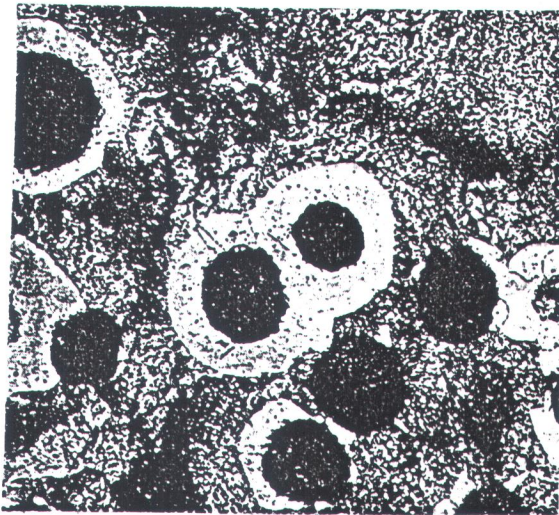
amnya terdiri dari matrik perlit dengan karbon bulat. Keuletan baik tetapi coran yang al tidak dapat dihilangkan karbonnya secara efektif dan dibagian dalam tetap keras a getas sehingga cara ini hanya dipakai untuk coran yang kecil dan tipis dengan ran 4 sampai 6 mm. Besi cor mampu tempa perapian hitam juga dibuat dengan lunakkan besi cor putih tetapi dalam hal ini sememtit terurai menjadi ferit dan grafit, ingga patahannya menjadi kelihatan hitam. Besi cor ini sangat liat dan dapat dibuat h tebal dengan mengatur komposisinya dan dianilnya.



Gambar 2.4 Kurva yang menunjukkan suhu annealing tahap I dan tahap II

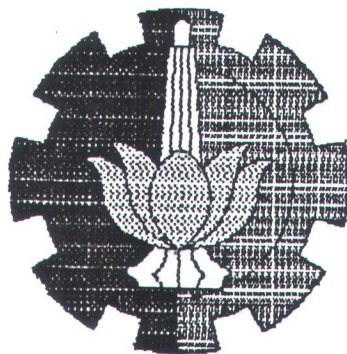
## Besi Cor Nodular

Nodular cast iron dikenal juga dengan nama ductile iron, spheroidal graphite iron. Besi cor ini grafit berbentuk bola-bola kecil ( spheroid ) dan diperoleh langsung dari pembekuan. Grafit yang berbentuk spheroid/bulat ini kekuatan dan ketangguhannya lebih tinggi daripada grafit berbentuk flake,



Gambar 2.5 Struktur besi cor nodular menunjukkan grafit bulat ( gelap ) diantara ferit ( terang ) dan perlit (gelap)

Kandungan karbon total dari besi cor ini sama seperti pada besi cor kelabu. Grafit yang berbentuk spheroid ini terjadi karena adanya unsur magnesium atau cerium, yang dituangkan ke dalam cairan besi pada ladle sesaat sebelum pengecoran. Jumlah ferit



### **BAB III**

## **MASALAH YANG TIMBUL**



## **BAB III**

### **MASALAH YANG TIMBUL**

### **PADA PROSES LAS BESI COR**

m

pengelasan dilakukan pada besi cor disebabkan oleh cacat dari hasil cor yang purna dan hasil coran yang mengalami kerusakan setelah dipakai. Pengelasan n salah satu cara untuk menghasilkan sistim kostruksi di samping dengan n, namun secara ekonomis pengecoran memerlukan biaya yang lebih tinggi.

da proses pengelasan besi cor itu meliputi banyak fenomena seperti: peleburan. n dan reaksi antara gas dan logam yang akhirnya menentukan hasil dari lasan Tegangan dan tegangan termal yang timbul selama proses pengelasan besi cor menyebabkan besi cor sensitif terhadap retak. Masalah-masalah ini dapat tau diselesaikan dengan penerapan prosedur pengelasan yang tepat selama ngelasan.

Persenyawaan C dari besi cornya sendiri dengan  $O_2$  dari atmosfer akan membentuk gas CO yang menyebabkan terjadinya lubang halus.

Tegangan sisa yang terjadi pada sudut, rusuk, dan tempat perubahan tebal menyebabkan retak mudah terjadi pada besi cor.

Bila dipanaskan terlalu lama grafit yang ada didalam besi cor menjadi kasar, disamping itu juga besi cor banyak berisi pasir dan rongga. Hal ini menyebabkan elektroda tidak mudah sesuai dengan logam induknya sehingga terjadi lubang-lubang halus.

Sebut pada pengelasan besi cor tidak dapat dihindari, oleh karena itu untuk besi cor perlu mempelajari dan mengerti sifat-sifatnya secara mendalam lebih

Hasil pengelasan besi cor kurang ulet ketika dilakukan pengelasan akan waktu pengalaman yang banyak.

yang dihadapi antara lain :

## Weld metal

Dalam weld metal bila dilihat secara mikrostruktur ada grafit, perlit, dan ferit, kadang-kadang martensit dan karbida bebas juga terlihat diantara fase-fase

Presentase dari pokok ini meliputi bentuk, ukuran dan distribusi adalah oleh

berbentuk spheroid seperti dalam besi cor mampu tempa. Seroihan grafit tersebut  
gi keuletan dalam daerah itu.

### HAZ ( Heat Attacked Zone )

temperatur yang dihasilkan dalam HAZ ini biasanya cukup tinggi untuk  
ormasikan logam induk ke austenit dengan penetapan karbon yang ada. Ketika  
n cepat austenit karbon tinggi berubah menjadi martensit yang getas. Ferit  
cor kelabu tidak dengan mudah berbentuk austenit pada pemanasan dan  
pada pendinginan. Tingkatan perlit dari besi cor kelabu dengan mudah  
martensit ketika didinginkan cepat dari diatas daerah transformasi, karena  
on kombinasi dari matrik perlit dengan cepat dilarutkan ke bentuk austenit  
ggi waktu dipanaskan.

### Penyebabnya martensit

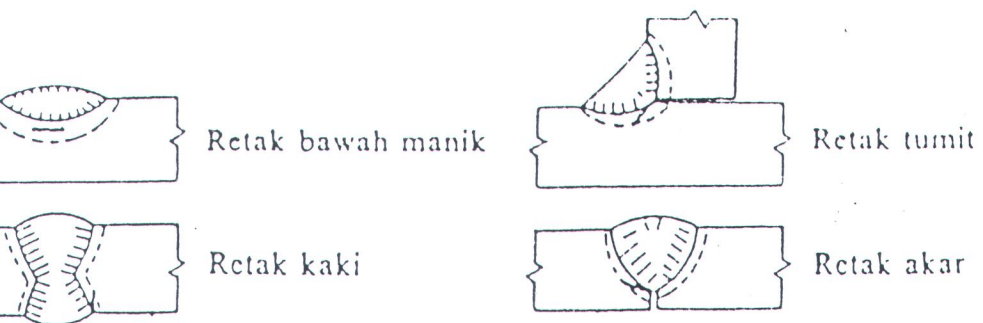
terjadinya martensit dalam weld metal dan HAZ untuk besi cor adalah sama  
rtensit yang terbentuk dalam baja, yaitu bila baja panas langsung dimasukkan  
temperatur yang sangat rendah ini mengalami driving force yang sangat besar  
ubah dari FCC menjadi BCT yang menimbulkan shear force terhadap

ng kadar karbonnya. Hal ini ikut menyebabkan tegangan dalam besi cor yang  
mi proses pengelasan tersebut.

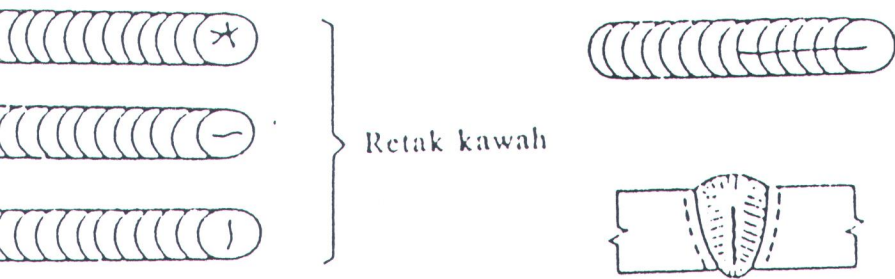
### **danya tegangan**

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan  
dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu  
rata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan  
Sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalangan  
angan yang mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk tetap yang disebabkan  
danya perubahan besaran mekanik. Di samping terjadi perubahan bentuk, yang  
endirinya terjadi regangan maka terjadi juga tegangan yang sifatnya tetap yang  
egangan sisa. Tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan ini dapat dibagi  
a kelompok, yaitu : pertama, tegangan sisa yang terjadi oleh adanya halangan  
ng terjadi karena pemanasan dan pendinginan setempat pada bagian konstruksi  
as, dan kedua, tegangan sisa oleh adanya halangan luar yang terjadi karena  
n bentuk yang terjadi sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan,  
u usaha untuk mengatur dan mengurangi tegangan sisa dan perubahan bentuk  
kukan.

Retak dingin ini terjadi pada suhu di bawah  $300^{\circ}\text{C}$ . Retak ini disebabkan adanya unsur yang larut dalam logam lasan dan berdifusi ke daerah HAZ. Retak dingin ini dapat terjadi pada daerah HAZ, namun pada baja kekuatan tinggi, retak dingin juga dapat ditemui berada di bawah manik las, sehingga sering disebut retak bawah manik las (bead cracking). Retak dingin dapat terjadi beberapa lama setelah proses pengelasan. Di bawah kondisi yang memungkinkan, retak ini dapat terjadi beberapa hari setelah pengelasan, namun dapat juga terjadi setelah 2 - 4 hari setelah pengelasan.



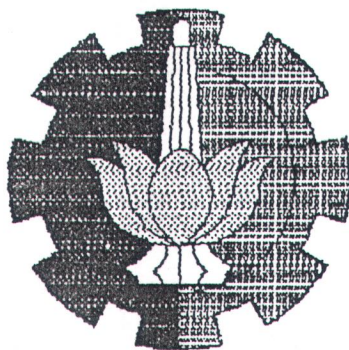
as terjadi pada suhu  $900^{\circ}\text{C}$  saat logam las membeku. Retak panas banyak  
n oleh kadar belerang yang tinggi dalam logam lasan. Bila belerang larut dalam  
, akan membentuk sulfida besi yang mempunyai titik lebur yang rendah.  
pada saat pembekuan, sulfida besi pada logam las akan terjebak sebagai butir  
yang rapuh. Bila logam las menyusut akan menyebabkan batas butir yang rapuh  
menjadi retak.





erja yang tidak sempurna, pergerakan busur yang salah, penghilangan terak yang bersih (untuk las multi layer), dan lain-lain. Walaupun seperti pada cacat, kadang ada juga yang disebabkan oleh kontaminasi oksigen dan nitrogen yang am logam las saat mencair. Sehingga pengalaman dan keahlian seorang welder enentukan dalam mencapai hasil las yang optimal.





## BAB IV

### METALURGI LAS BESI COR

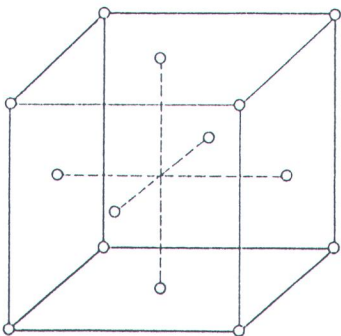
ada pengelasan logam, daerah las akan mengalami proses pemanasan dan an secara cepat yang mengakibatkan terjadinya transformasi fase dan n sifat pada logam tersebut. Fase adalah bahan yang mempunyai struktur dan nposisi tersendiri. Sifat dari suatu bahan akan sangat ditentukan oleh struktur nposisinya. Suatu bahan memiliki struktur yang sama tetapi komposisinya akan memiliki komposisi yang sama tetapi strukturnya berbeda pasti memiliki berbeda.

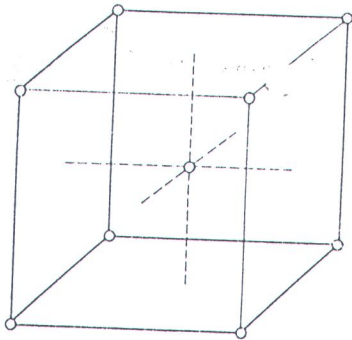
#### Struktur Logam

ebenarnya struktur logam lasan tidaklah merupakan suatu susunan yang , tetapi terdiri dari bagian-bagian kecil yang tidak teratur yang disebut "*grain*". an bentuk grain tergantung dari perlakuan panas yang dilaksanakan pada proses n logam tersebut. Pasangan atom pada satu sisi yang lain mempunyai orientasi

yang mempunyai butiran yang lebih halus. Sebagian besar atom dari logam disusun secara periodik atau berulang yang disebut struktur kristal. Penempatan atau susunan atom-atom menentukan bentuk dari struktur kristal. Penyajian bentuk ini secara visual dimana atom-atom logam menyusun dengan sendirinya selama pendinginan dari cair ke padat disebut struktur kristal.

Jenis struktur kristal yang perlu diketahui ada tiga, yaitu *face center cubic* (*FCC*), *body center cubic* (*BCC*), dan *body center hexagonal* (*BCH*). Logam dengan struktur *FCC* biasanya lunak, bersifat plastis dan mudah dibentuk. Sedangkan logam dengan struktur *BCC* mempunyai kekuatan yang lebih tinggi tetapi sifat pengerjaannya lebih rendah dibanding *FCC*.



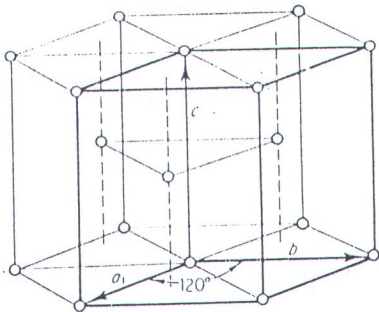


Left



Fig. 2.9 Unit cell of the b.c.c. structure represented by points (left) and as spheres (right).

### Gambar 4.2 b Tipe struktur elemen kristal BCC



Left

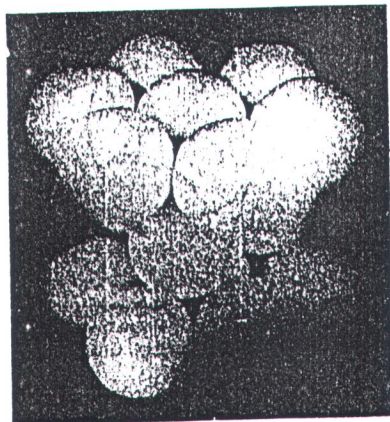
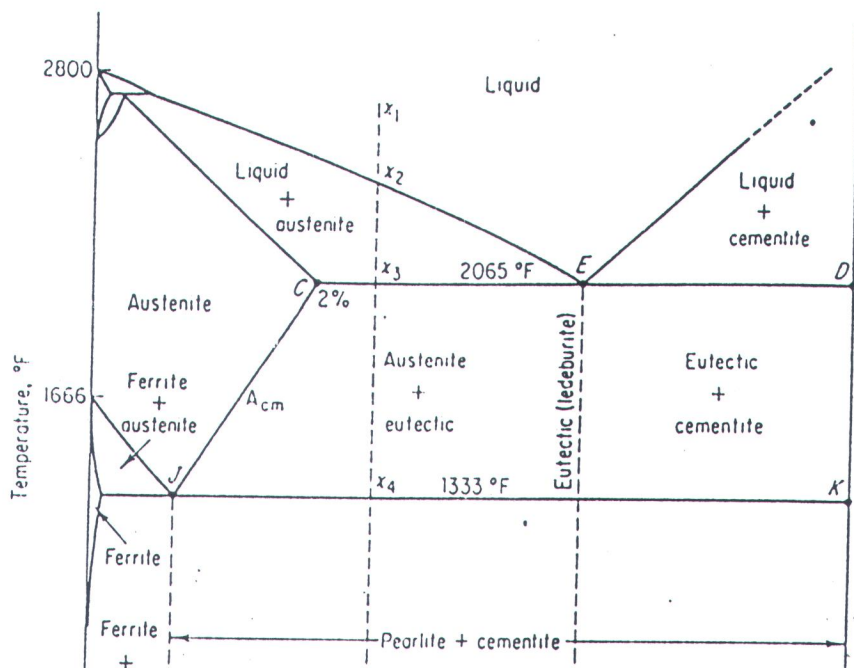


Fig. 2.11 The c.p.h. structure—as points, with the unit cell shown in heavy lines (left), and as spheres (right).

py. Misalnya besi, pada temperatur kamar atom besi tersusun menurut pola BCC.  
panaskan samapai temperatur  $911^{\circ}\text{C}$  bertransformasi menjadi FCC.

### Proses Pertumbuhan Struktur Mikro Besi Cor

Struktur mikro besi cor ditentukan oleh komposisi dari besi dan karbon. Dari  
fase besi-karbon dapat dipelajari bagaimana fase berubah dan struktur apa yang  
kalau besi cor yang mengandung 2 - 4 % C membeku dan didinginkan sampai  
atur kamar.



yang ada pada diagram keseimbangan besi-karbon adalah sebagai berikut :

### Besi gamma ( $\gamma$ )

Merupakan larutan karbon pada besi dengan sel satuan kubus berpusat badan/BCC, fase ini terjadi antara  $1700^{\circ}\text{C}$ .

### Austenit

Larutan padat dari karbon pada besi dengan sel satuan kubus berpusat muka/FCC. Sifat-sifat austenit adalah lunak, tidak magnetis dan pada temperatur tinggi dapat melarutkan karbon.

### Ferit

Besi yang merupakan larutan pada karbon pada besi murni dengan sel satuan kubus berpusat muka/FCC, fase ini terjadi dibawah temperatur  $911^{\circ}\text{C}$ . Sifat dari besi ferit adalah lunak, liat dan baik ditempa.

### Sementit

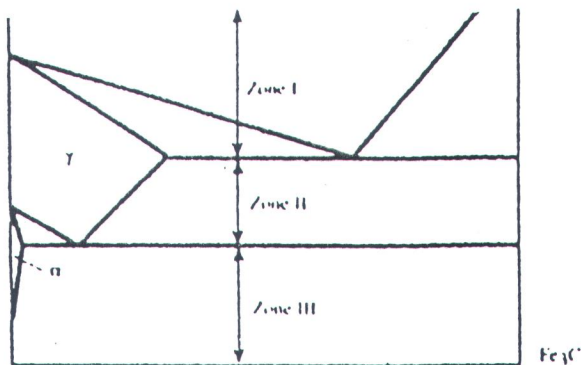
Karbida besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang mengandung karbon tinggi dengan bentuk sel satuannya ortorombik ( tidak membentuk sel satuan ) dan mempunyai sifat sangat keras dan sukar ditempa.

### Perlit

Merupakan campuran antara ferit dan sementit. Sifat perlit adalah perlit liat



Struktur besi cor yang mengalami proses pendinginan mengikuti diagram  
 Diagram besi-karbon dapat dibagi menjadi tiga tahap seperti pada gambar 4.4.  
 Tahap dibedakan lagi menjadi proses pendinginan lambat, sedang dan cepat.



	Low carbon Low silicon Fast cool	Medium carbon Medium silicon Moderate cool		Higher carbon Higher silicon Slower cool	
	White CI	Pearlitic		Ferritic	
		Gray	Nodular	Gray	Nodular
	$\gamma + L$	$\gamma + L$	$\gamma + L + Mag$	$\gamma + L$	$\gamma + L + Mag$
	$\gamma + C_{em}$	$\gamma + G_1$	$\gamma + G_0$	$\gamma + G_1$	$\gamma + G_0$
	$P + C_{em}$	$P + G_1$	$P + G_0$	$\alpha + G_1$	$\alpha + G_0$



Malleable	Given	Fast cool	Slow cool
Reheat Hold for long	Zones	Pearlitic	Ferritic



Pembekuan dimulai pada keadaan I, dimana sampai pada keadaan ini hanya ada fasa cairan. Pada pendinginan lambat akan terbentuk austenit dan karbida besi. Pada keadaan satu ini pendinginan dilanjutkan pada keadaan II, maka cairan yang tinggal mulai membeku, dan pada pendinginan cepat akan terbentuk austenit dan karbida besi. Namun pada pendinginan sedang dan lambat akan terbentuk austenit dan grafit. Saat mencapai keadaan III, maka kecepatan pendinginan benar-benar menentukan struktur matrik. Pada pendinginan cepat maka akan terbentuk perlit dan karbida besi. Perlit adalah struktur yang terbentuk dari lapisan ferit yang liat dan sementit yang keras dan getas. Perlit itu memiliki ketahanan aus yang baik sekali, sehingga untuk besi cor kelas tinggi perlu matrik perlit. Pada pendinginan sedang akan terbentuk perlit dan grafit, dan pada pendinginan lambat akan terbentuk ferit dan grafit, hal ini disebabkan ferit mempunyai waktu cukup untuk mengalami grafitisasi dari cementit. Struktur yang terbentuk adalah ferit silisium yang liat tetapi tidak diinginkan dalam jumlah banyak karena apabila berlebihan akan merusak sifat-sifatnya. Sementit tidak membentuk struktur sendiri tetapi membentuk struktur eutektik dengan austenit atau tersisihkan dari austenit bercampur dengan fosfida besi. Sementit sangat keras dan sukar mengkilap sehingga pengendapan sementit lebih baik dihindari kecuali untuk meningkatkan sifat logam tahan aus.

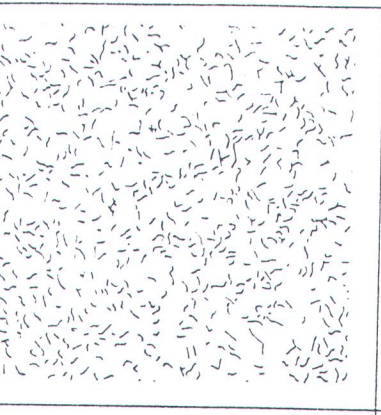
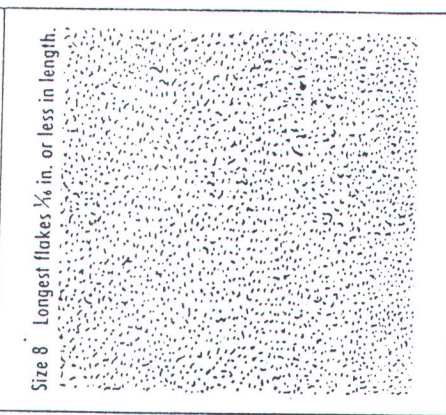
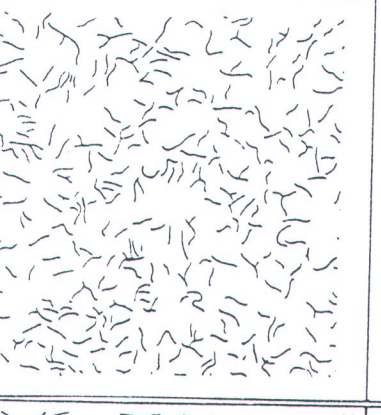
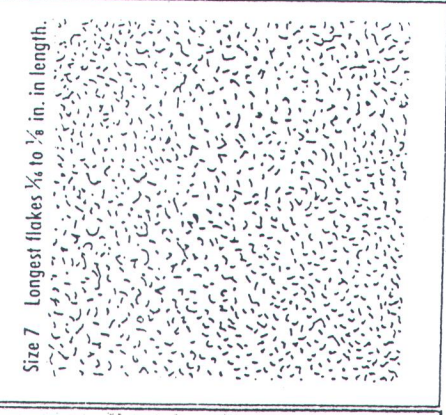
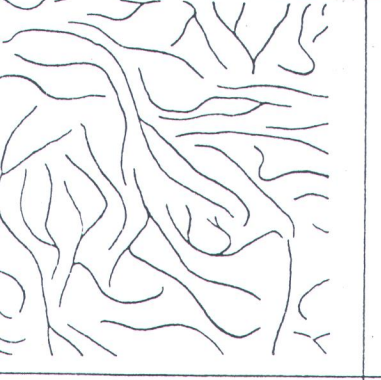
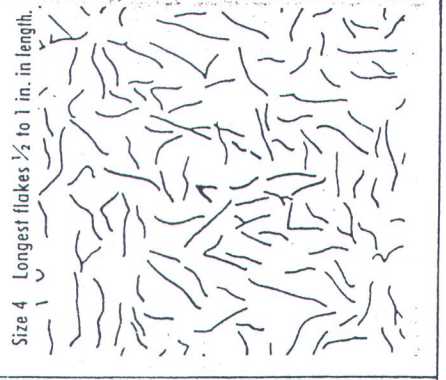


Ukuran dari flake ditentukan dengan cara seperti yang telah ditetapkan *AFS* (*American Foundrymen's Society*) dan *ASTM* (*American Society for Testing Material*) mengukur panjang grafit yang terpanjang dari besi cor kelabu, pada gambar rafi dengan pembesaran 100x dapat dilihat dalam gambar 4.5.

AFS-ASTM Nomer	Flake terpanjang { Ins }	100x { mm }
1	4,0 or more	128
2	2,0 - 4,0	64
3	1,0 - 2,0	32
4	1/2 - 1,0	16
5	1/4 - 1/2	8
6	1/8 - 1/4	4
7	1/12 - 1/8	2
8	1/12 or less	1

Tabel 4.1 Ukuran serpihan grafit

transformasi pada saat pemanasan

Mengelas adalah suatu proses penyambungan dua logam dan paduan-paduan

	<p>Size 8 Longest flakes <math>\frac{1}{16}</math> in. or less in length.</p> 
	<p>Size 7 Longest flakes <math>\frac{1}{8}</math> to <math>\frac{1}{16}</math> in. in length.</p> 
	<p>Size 4 Longest flakes <math>\frac{1}{2}</math> to 1 in. in length.</p> 
	<p>length.</p> 

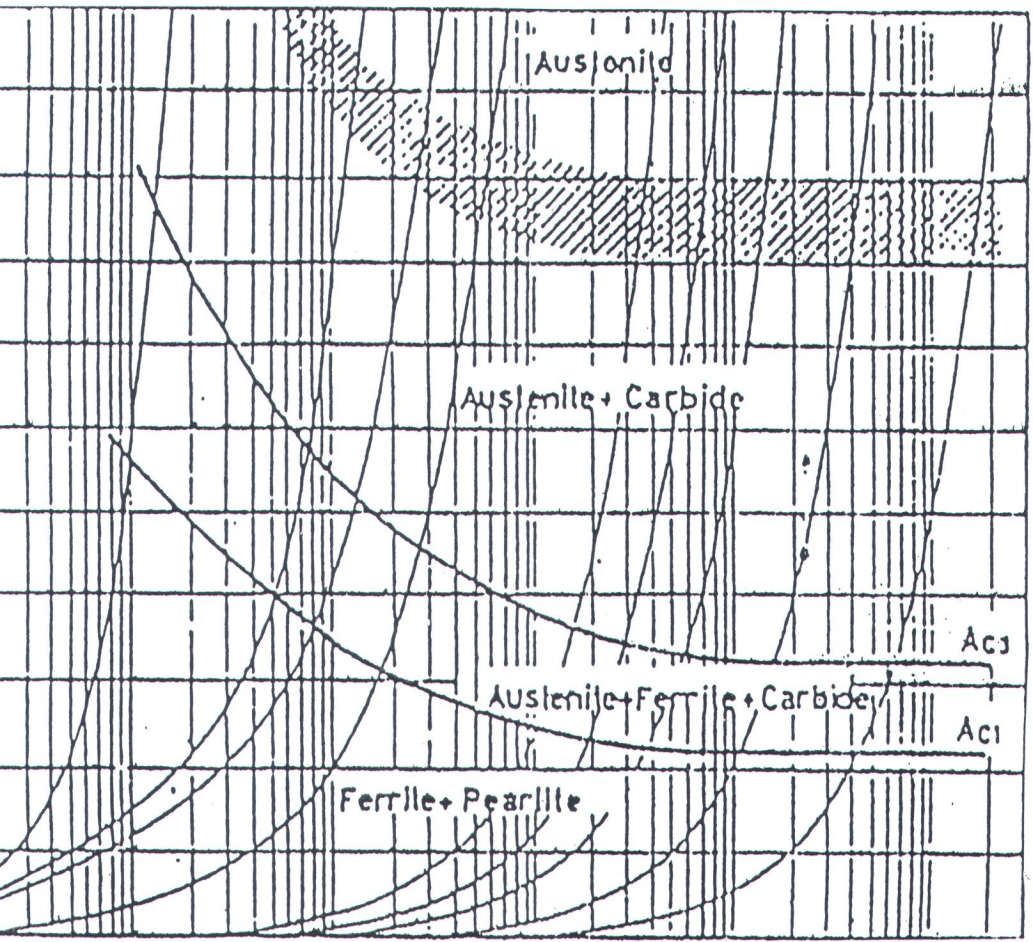
dan ukuran grafit  
rt AFS dan ASTM (ref 2)



Temperatur pengelasan

Waktu penahanan

Kadar karbon



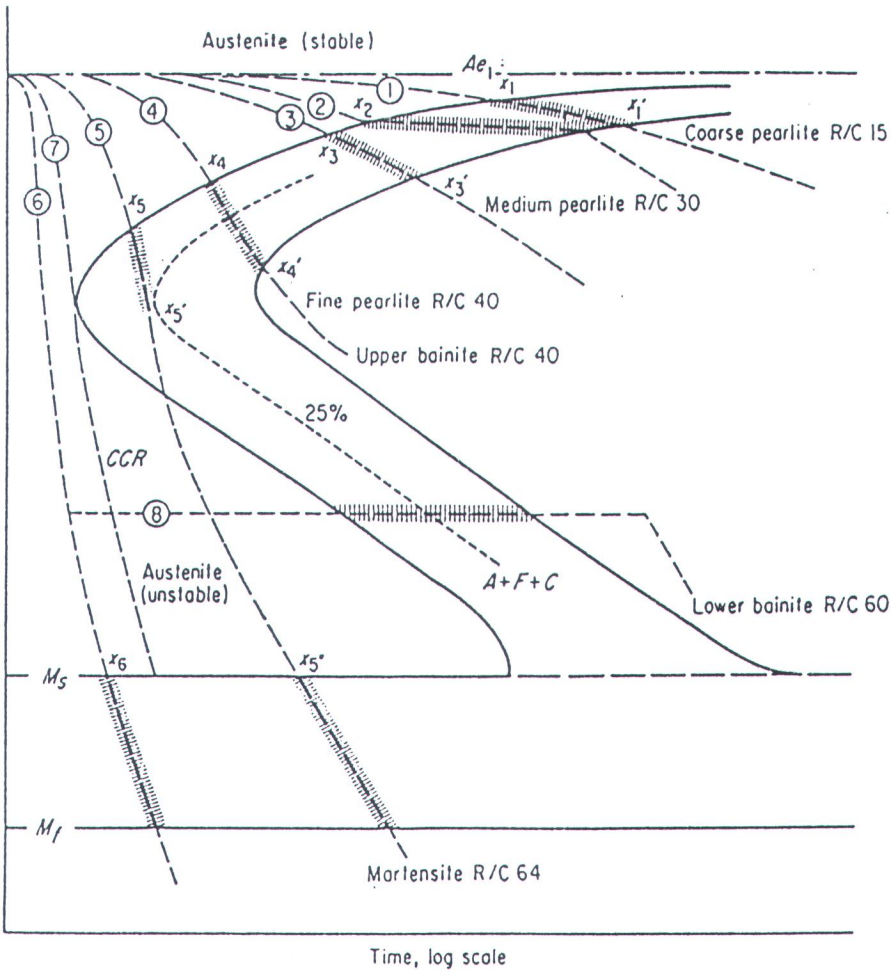
Dari diagram transformasi pemanasan kontinyu dari baja karbon dengan 0,7% C digunakan sebagai pembanding untuk semua logam bahwa laju pemanasan berpengaruh terhadap temperatur transformasi, makin tinggi laju pemanasan makin temperatur transformasinya. Laju pemanasan ke suatu temperatur juga berpengaruh terhadap laju transformasi dan laju pelarutan, makin tinggi laju pemanasan makin tinggi laju transformasi dan pelarutan.

Diagram transformasi untuk pemanasan tentu sangat membantu dalam praktek dalam perlakuan panas, sehingga orang dapat memperkirakan secara sederhana pemanasannya dan memberikan holding time beberapa saat.

### **Transformasi pada saat pendinginan**

Diagram transformasi untuk pendinginan lebih dikenal daripada yang untuk pemanasan. Ada dua jenis diagram transformasi untuk pendinginan, yaitu diagram transformasi isothermal dan diagram transformasi pendinginan kontinyu.

Diagram transformasi isothermal sering disebut *I-T diagram* (*Isothermal Transformation Diagram*) atau *TTT Diagram* (*Time Temperature Transformation Diagram*), diperoleh dengan memanaskan sejumlah spesimen kecil dari logam yang akan dibuat diagram transformasinya sampai temperatur austenit. Lalu



Gambar 4.7 Diagram I-T pada baja eutektik



### *Kurva Pendinginan 2*

Menggambarkan pendinginan seperti pada " isothermal annealing ", proses an dengan mendinginkan cepat sampai ke suatu temperatur dibawah temperatur diatas daerah hidung diagram ). Pada kurva 2 transformasi berlangsung pada atur yang lebih rendah, akan menghasilkan fase perlit yang lebih halus.

### *Kurva Pendinginan 3*

Menggambarkan pendinginan yang agak cepat. Disini tampak bahwa masi dimulai dan selesai pada temperatur yang berbeda, sehingga akan diperoleh engan ukuran butir bervariasi. Yang terjadi pada temperatur lebih akan lebih an yang terjadi pada temperatur rendah akan lebih halus, sehingga ada sebagian asar dan sisanya perlit medium. Perlit yang lebih halus akan dihasilkan *kurva yinan 4* yang lebih cepat lagi, seperti oli quench.

### *Kurva Pendinginan 5*

Pendinginan yang cukup cepat, transformasi menjadi perlit mulai lebih cepat, transformasi akan berhenti ketika kurva pendinginan menyinggung kurva masi 25% ( transformasi baru berlangsung 25% ). Transformasi akan mulai lagi nencapai temperatur  $M_s$  , menjadi martensit. Sehingga setelah akhir transformasi peroleh 25% perlit halus dan 75% martensit.

a sebagian perlit. Karena itu laju pendinginan yang tepat menghasilkan 100%

it disebut *laju pendinginan kritis* atau *Critical Cooling Rate (CCR)*.

Diagram transformasi pendinginan kontinyu atau sering disebut sebagai CCT

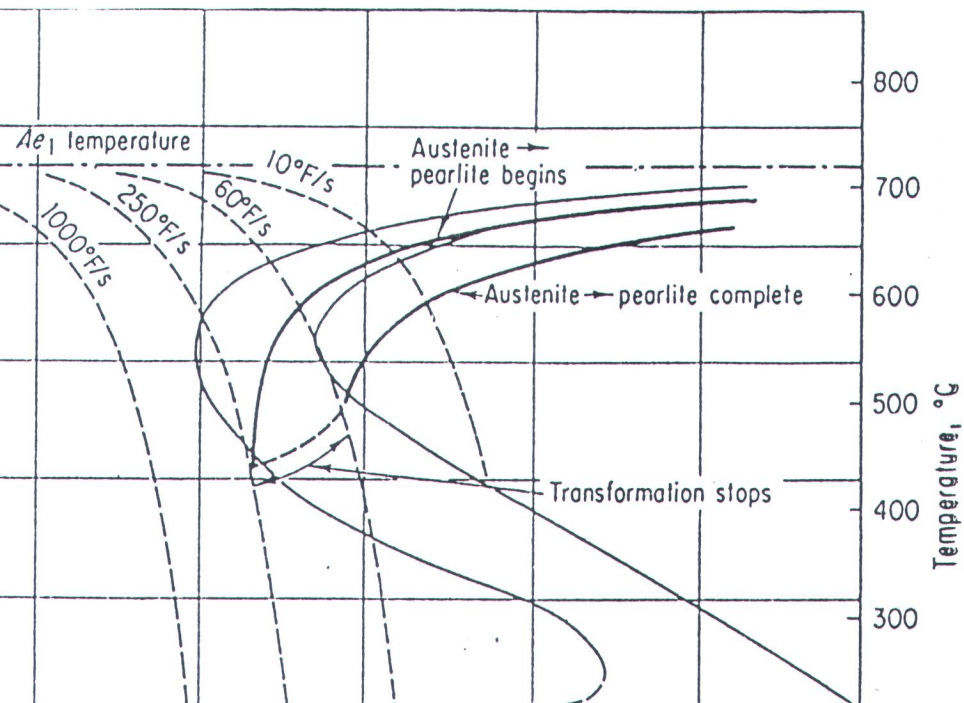
( continuous Cooling Transformation ) bentuknya sedikit berbeda dengan I-T

, yaitu tergeser sedikit kekanan bawah, dan pada baja tidak terdapat daerah

masi austenit-bainit. Ini disebabkan kurva awal transformasi austenit bainit

g leh kurva transformasi austenit-perlit. Jadi dengan pendinginan kontinyu tidak

ainit.



### Struktur Lasan

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian, yaitu : logam lasan ( weld metal ), daerah pengaruh panas ( HAZ ), dan logam induk ( base metal ). Logam lasan adalah bagian logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku. Daerah pengaruh panas adalah daerah yang mengalami siklus termal cepat dan pendinginan singkat. Sedangkan logam induk adalah logam dasar yang tidak terpengaruh, dimana panas dan suhu lasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat dari logam tersebut.

Disamping ketiga pembagian diatas, ada suatu daerah khusus yang terletak pada perbatasan antara logam lasan dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas larut ( fusion boundary ).



## **weld metal**

Dalam menentukan logam lasan ini tergantung dari logam apa yang akan dilas, las yang digunakan, juga posisi lasan. Untuk itu dalam pemilihan logam lasan diperhatikan sifat-sifat mekanis antar lain : keuletan, kekerasan, dan kekuatan. Untuk itu juga harus diperhatikan komposisi kimia pada logam lasan yang menjadi logam pengisi pada sambungan lasan.

## **HAZ**

Daerah pengaruh panas ( HAZ ) adalah bagian yang paling jelek pada sambungan las ini disebabkan pada daerah ini struktur kristalnya berubah dan lebar daerah pengaruh panas ini tergantung dari proses pengelasannya. Ukuran dari fase dan luasnya perubahan fase tergantung dari kecepatan pendinginan, makin cepat pendinginannya makin kecil ukuran dan luas perubahan fasenya.

## **Base Metal**

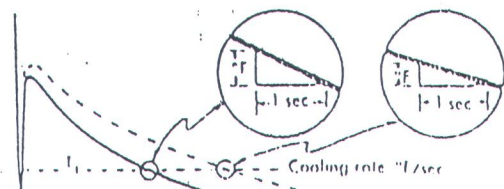
Logam induk biasanya didapat dari proses pengecoran saja atau pengecoran dan pengecoran dengan atau tanpa perlakuan panas. Komposisi kimia dari logam tersebut mempengaruhi sifatnya. Kelebihan karbon menambah kekerasan dan daya ausnya,



selama dan sesudah pengelasan.

arena dalam penelitian yang dilakukan menggunakan proses perlakuan panas pengelasan, maka dibawah ini dijelaskan kegunaannya sebagai berikut :

- 1. Untuk mengurangi susut pada lasan dan pada daerah dekat logam induk, apalagi jika digunakan penahan sambungan yang terlalu kuat pada logam yang dilas.
  - 2. Untuk memperlambat kecepatan pendinginan dan mencegah pengerasan dan turunnya ductility pada daerah pengelasan dan daerah pengaruh panas.
  - 3. Memberikan kesempatan yang lebih lama untuk hidrogen terdifusi keluar dari lasan dan daerah dekat pelat untuk menghindari retak " under bead ".
- ari kegunaan preheat yang telah disebutkan diatas dapat disimpulkan bahwa an preheat adalah untuk meperlambat kecepatan pendinginan. Untuk lebih dapat dilihat pada gambar 4.10 .



Pada lingkaran dari gambar dapat dilihat, sesudah pengelasan maka penurunan tur/detik dengan temperatur awal  $60^{\circ}\text{C}$  lebih besar dibandingkan jika nakan temperatur awal  $150^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan efek dari kondisi pengelasan pada an pendinginan dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

#### 1. Heat Input

Ukuran elektroda yang terlalu kecil dan arus pengelasan yang minim serta kecepatan yang rendah cenderung mengurangi masukan energi yang berarti menaikkan kecepatan pendinginan.

#### 2. Tebal logam dasar

Umumnya pendinginan akan lebih cepat terjadi pada logam dasar yang tebal bila dibandingkan yang tipis.

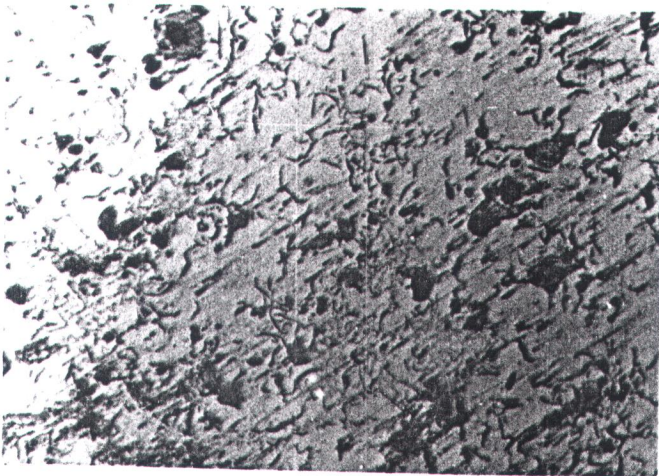


## BAB V

### PERCOBAAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN

si cor yang kelabu yang digunakan

Material uji yang digunakan untuk percobaan ini adalah jenis besi cor kelabu. diadakan uji kekerasan Brinell dan uji mikrografi di laboratorium uji material TTS, maka harga kekerasan Brinell sebesar 178 dan hasil foto struktur mikro dilihat dalam gambar 5.1. Adapun komposisi dan karakteristik besi cor tersebut dilihat dalam lampiran A.



Gambar 5.1. Struktur besi cor kelabu (180x)

Komposisi kimianya :

C = 2,0 %

Si = 4,0%

Mn = 1,0%

Cu = 2,5%

Ni = 55%

Fe = 8,0%

Elektroda ini mempunyai karakteristik dan penggunaan :

Weld metal dalam besi tahan terhadap retak.

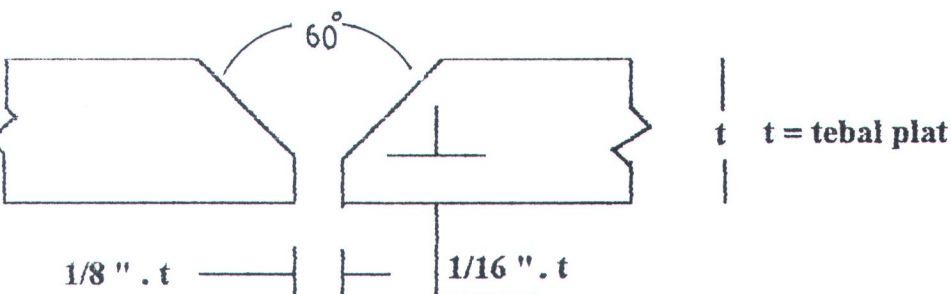
Bebas dari slag inclusion dan porosity.

Weld metal mudah dimachining.

### **Pembuatan spesimen**

Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh perlakuan panas pada proses sinterisasi terhadap perubahan struktur mikro yang terbentuk dan sifat mekanis yang dihasilkan. Pengaruh dari perlakuan panas terhadap perubahan struktur tersebut pada besi cor. Pengaruh dari perlakuan panas terhadap perubahan struktur fase sebagai fungsi perubahan dari suatu parameter dengan melihat perubahan struktur fase sebagai fungsi perubahan dari suatu parameter yang lain. Perubahan struktur fase pada daerah yang terpengaruh

mekanik pada logam lasan merupakan subyek dari penelitian ini. Selanjutnya di pembuatan spesimen dengan bentuk kampuh "V" seperti terlihat pada gambar 5.2 bentuk kampuh single buttjoint.



Gambar 5.2 Bentuk kampuh "V"

### Prosedur percobaan berdasarkan perlakuan panas

Dalam percobaan ini parameter berubah adalah perlakuan panas. Pada parameter perlakuan panas proses yang mengiringi pengelasan dibagi menjadi empat bagian, yaitu pengelasan langsung tanpa perlakuan panas dan tiga proses lainnya adalah variasi perlakuan panas ( preheat ) masing-masing  $225^{\circ} \text{F}$ ,  $450^{\circ} \text{F}$ ,  $600^{\circ} \text{F}$ . Besarnya perlakuan preheating untuk pengelasan busur untuk besi cor kelabu adalah seperti yang ditetapkan oleh AWS dapat dilihat dalam tabel 5.1.

dilakukan pengelasan dengan cepat spesimen tersebut ditutup dengan asbes  
emperlambat kecepatan pendinginan.

Pada prosedur pertama, yaitu pengelasan tanpa perlakuan panas, besi cor kelabu  
g dilas sebanyak tiga pass. Setiap pass dilakukan peening guna lebih  
kan antar weld dan logam induk.

Pada prosedur selanjutnya yang memakai pemanasan mula, panas ini didapat  
govenan. Bila suhu naik sesuai yang diinginkan, suhu tersebut ditahan selama

Setelah itu dilakukan pengelasan dengan tiga pass dan setiap pass dilakukan

langkah selanjutnya memotong spesimen yang akan digunakan sebagai test

imana daerah yang diambil bagian tengah sedangkan kedua ujung dibuang.

pemotongan dapat dilihat dalam gambar 5.3.



Welding conditions :

Ampere : 110 A

Posision : 1 G

Pass : 3

Arc. : SMAW

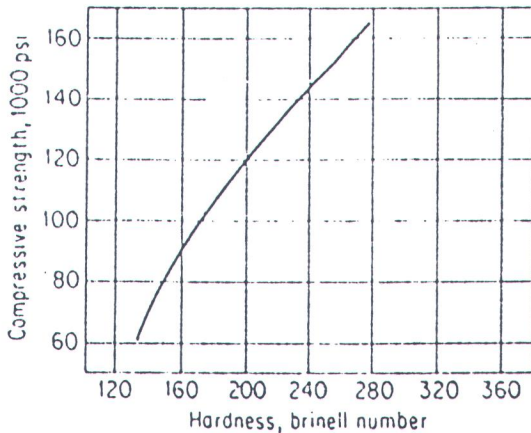
Thickness : 10 cm

**ngujian kekerasan Brinell**

Kekerasan dapat didefinisikan sebagai ketahanan logam terhadap penetrasi dan lainnya yang lebih keras. Uji kekerasan merupakan pengukuran lapisan logam terhadap ketahanan dari deformasi plastis. Pada uji kekerasan bila logam dilakukan penekanan, ujung penumbuk ( indentor ) akan mengalami gaya tekan akibat adanya ketahanan logam terhadap deformasi elastis dan sedikit deformasi plastis. Selanjutnya dengan bertambah dalamnya penetrasi akan terjadi deformasi plastis yang besar sehingga gaya yang harus dilawan oleh ujung penumbuk akan bertambah besar. Karena itu kekerasan suatu logam bukan merupakan sifat mekanis yang tersendiri dari sifat mekanis.

Kekerasan juga dapat menyatakan sifat yang sama dari pengujian yang lain,





Gambar 5.4 Grafik hubungan antara tegangan tekan dan kekerasan Brinell

Banyak persoalan metallurgi memerlukan data-data mengenai kekerasan pada an yang tidak merata. Oleh karena itu pengujian kekerasan Brinell sangat cocok si cor. Beban yang ditujukan didapat dari load faktor.

$$\frac{P}{D} = 30$$

imana  $P$  = beban indenter ( kg )

$D$  = diameter indetor ( mm ), diambil = 1 mm



n pada penumbuk yang terbenam dalam milimeter yang dihitung dari panjang diagonal penumbuk.

Angka kekerasan brinell dihitung dari persamaan :

$$\begin{aligned} \text{BHN} &= \frac{2P}{\{D(D-(D^2-d^2)^{1/2})\}} \\ &= \frac{50}{\{(1-(1-d^2)^{1/2})\}} \end{aligned}$$

dimana p = beban ( kg )

d = panjang diagonal rata-rata indentor ( mm )

D = diameter penumbuk ( mm )

Permukaan spesimen harus rata dan sejajar antara alas dengan permukaan, untuk  
spesimen sebelum dilakukan pengujian harus digerinda.

### **pengujian mikrografi**

Pada prinsipnya persiapan mikrografi yang dilakukan indentik dengan persiapan  
mikrografi secara umum. Tujuan dari mikrografi ini adalah untuk mengamati bentuk  
struktur kristal, juga struktur fase logam. Sedangkan kegunaan dari pengujian  
mikrografi diterangkan sebagai berikut :

berdifusi lebih lama dan menempuh jarak lebih panjang, sehingga terbentuk fase ferrit dan perlit halus yang menghasilkan kekerasan tinggi dapat dibuktikan.

### **Prosedur pengujian**

Langkah-langkah persiapan yang dilaksanakan pada pengamatan mikrografi ini sebagai berikut :

#### **1. Pemotongan spesimen**

Proses pemotongan spesimen dilakukan dengan pendinginan berlebihan untuk menghindari rusaknya struktur kristal dari spesimen akibat pemanasan yang berlebihan. Rusakan-kerusakan lain karena sebab-sebab mekanis.

#### **2. Proses penggerindaan**

Proses penggerindaan ini adalah proses awal untuk membuat spesimen rata. Pada proses ini spesimen digosok dengan kertas gosok grid 500, 800, dan 1000. Penggosokan grid dilakukan apabila goresan pada grid sebelumnya telah hilang. Untuk mendapatkan hasil yang baik, setiap kali beralih pada penggosokan dengan tingkat kehalusan yang lebih tinggi, arah goresan harus tegak lurus dengan arah goresan sebelumnya.

#### **3. Pemolesan**

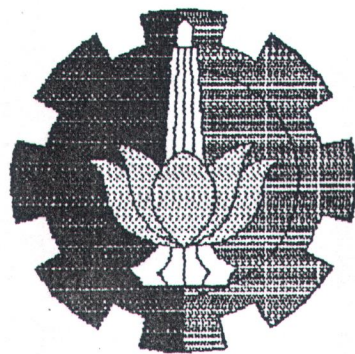
bebas dan siap untuk dilakukan pengetsaan. Ketekunan dan kesabaran yang dituntut dalam proses ini, mengingat keberhasilan dari suatu analisa mikrografi ditentukan oleh persiapan spesimen ini.

#### 4. Proses pengetsaan

Untuk mendapatkan gambaran yang nyata dari struktur kristal pada saat diamati dengan mikroskop metallurgi, spesimen perlu dietsa. Pengetsaan adalah proses etsa secara kimiawi dari suatu logam dalam larutan kimia. Dalam pengetsaan, digunakan larutan etsa yang dipakai 2% asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) dalam alkohol atau disebut nital. Larutan etsa dituangkan pada permukaan spesimen yang telah dibersihkan dan dipoles. Lamanya etsa antara 10 sampai 15 detik. Setelah proses etsa selesai spesimen dibersihkan dengan air dan di-alkohol dengan alkohol agar tidak terjadi reaksi yang terus menerus yang merusak struktur kristalnya.

#### 5. Pengamatan dan pengambilan gambar

Spesimen yang telah selesai mengalami proses pengetsaan diletakkan pada mikroskop untuk diamati dan dipelajari perubahan struktur dan butir fase pada logam. Setelah selesai mengalami proses pengelasan. Pengambilan foto dilakukan dengan mikroskop pada masing-masing tempat yang diamati. Daerah yang diamati dalam penelitian ini adalah logam lasan, garis sambungan lasan ( fusion line ), HAZ,



## **BAB VI**

### **ANALISA**

proses yang ditimbulkan dari proses pengelasan dapat berakibat adanya perubahan tertentu baik logam lasan maupun logam induk. Perubahan tersebut terjadi selama berlangsungnya proses pengelasan maupun selama logam mengalami pendinginan. Pengaruhnya berkaitan dengan struktur grain maupun kekerasan, dimana perubahan struktur tersebut tergantung dari temperatur puncak ( peak temperatur ) dan komposisi logam, temperatur awal dan kecepatan pendinginan. Faktor utama yang digunakan untuk mengontrol perubahan tersebut adalah besarnya heat input yang diberikan dan kecepatan pendinginan pada logam.

#### **Pengaruh preheating pada daerah pengaruh panas ( HAZ )**

Dari data pengelasan yang diperoleh dengan prosedur yang berbeda, yaitu dengan dan tanpa pemanasan mula dan variasi besarnya temperatur pemanasan mula 250°F, 450°F dan 600°F akan dianalisa pertumbuhan fase yang terjadi melalui



- Pengamatan mikrografi untuk tiap-tiap spesimen

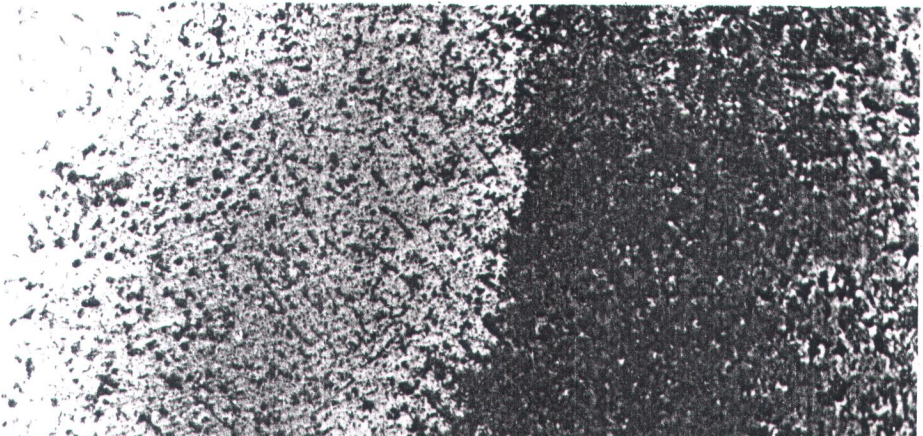
**a. Spesimen 1 ( tanpa perlakuan panas )**

Dari pengamatan mikrografi terlihat struktur fase pada ketiga daerah lasan pengamatan mikrografi sebesar 100x seperti gambar dibawah ini dan 400x seperti pada lampiran B.

pada logam lasan berbentuk perlit ( tampak gelap ) dan ferit ( tampak terang ).  
se ini perlit lebih dominan, disamping serpihan grafit lebih banyak.

Pada sambungan lasan lebih dominan perlit dan ferit lebih tampak pada dekat lasan. Ukuran grafit lebih besar dari grafit di logam lasan.

Pada HAZ fase perlit lebih dominan diselingi dengan fase ferit dan grafit lebih



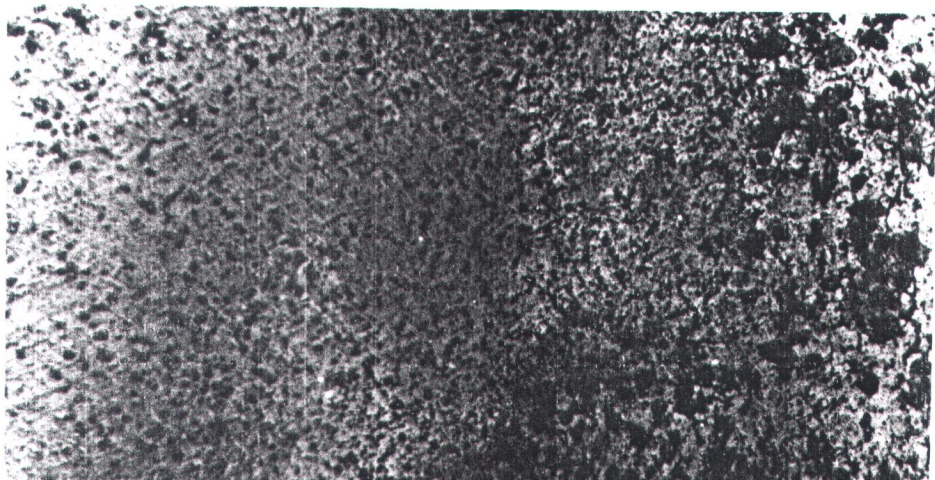
**b. Spesimen 2 ( preheat 225°F )**

Dari pengamatan terlihat struktur fase pada ketiga daerah lasan terlihat :

Pada logam lasan berbentuk perlit ( tampak hitam ) lebih dominan seperti halnya spesimen 1 daripada ferit. Namun grafit yang terbentuk lebih besar. Pada daerah HAZ, logam lasan ferit ( tampak terang ) lebih dominan dari spesimen 1 dan tampak lebih banyak ( tampak gelap ). Grafit yang terbentuk lebih besar dan mengelompok.

Pada sambungan lasan tampak ferit dan perlit dengan ferit lebih dominan. Pada HAZ, grafit lebih besar dari grafit di logam lasan.

Pada daerah HAZ, struktur fase yang terbentuk perlit lebih dominan dari ferit seperti halnya spesimen 1.





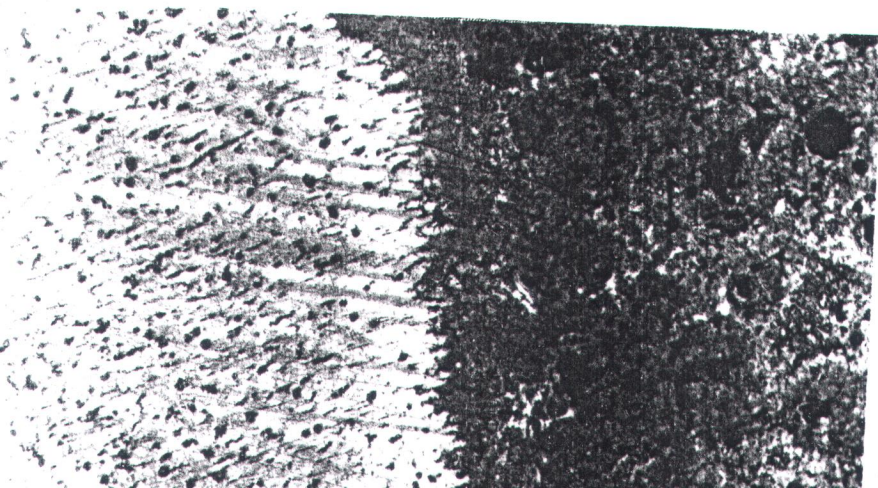
### c. Spesimen 3 (preheat 450°F)

Pada pengamatan mikrografi spesimen 3 untuk ketiga daerah lasan terlihat:

Pada logam lasan bentuk ferit dan perlit tersebar merata. Di seliling grafit terlihat ukuran grafit lebih panjang.

Pada daerah sambungan lasan perlit lebih dominan dan tampak ferit kelompok.

Pada daerah HAZ tampak ferit lebih dominan dari spesimen 1 dan 2. Tampak perlit dan ferit tersebar merata. Ukuran grafit lebih besar dari grafit di logam lasan dan di HAZ untuk spesimen 1 dan spesimen 2.



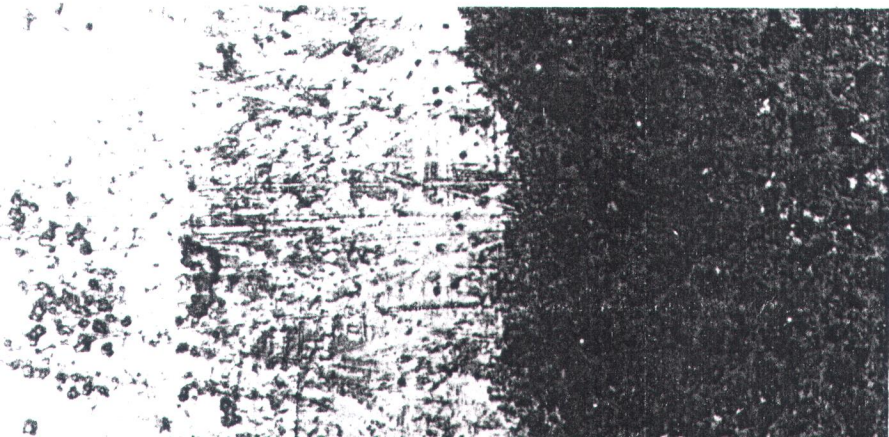
#### d. Spesimen 4 ( preheat 600°F )

Pada pengamatan mikrografi spesimen 4 untuk ketiga daerah lasan tersebut :

logam lasan, grafit tampak lebih halus secara merata. Fase ferit dan perlit merata. Tampak pula sebagian perlit mengumpul sehingga tampak lebih besar. daerah sambungan lasan tampak perlit dan ferit mengumpul sehingga tampak besar.

Pada daerah sambungan lasan tampak perlit dan ferit sebagian mengumpul dan tersebar merata. Fase ferit lebih dominan daripada spesimen lainnya.

Pada daerah HAZ tampak sebagian ferit mengumpul dan sebagian tersebar dengan perlit. Tampak grafit yang terbentuk lebih panjang.



### **pengaruh preheating pada sifat mekanik**

Pada pengujian sifat mekanik pada buku ini adalah uji kekerasan Brinell. Hal ini kan hubungan antara struktur mikro dan kekerasan sangat terkait. Dengan an kekerasan ini diharapkan diperoleh data kuantitatif yang menunjukkan perubahan sifat pada masing-masing test piece yang mendapat preheating yang beda. Pengujiann kekerasan ini menggunakan alat uji kekerasan brinell dengan yang dipergunakan berbentuk bola untuk membentuk jejak pada logam dengan tertentu, seperti yang dijelaskan dalam bab v.

Namun dengan melihat pada foto mikrografi, sifat mekanik pada lasan dapat kan dengan fase yang terjadi dan mengetahui sifat-sifat dari fasenya, yaitu fase perlit menentukan keuletan daerah tersebut.

### **pengaruh preheating pada kekerasan**

Pada pengujian kekerasan ini dilakukan mulai dari logam lasan bergerak menuju induk. Dengan pengujian semacam ini diharapkan mendapatkan perubahan n dari logam lasan sampai logam induk mengalami kenaikan pada daerah HAZ s menurun sampai logam induk. Seperti diketahui bahwa temperatur pucak dari lasan sampai logam induk semakin menurun sehingga perubahan fase pada



Reparasi untuk coran yang rusak setelah dipakai seperti : retak atau patah.

dan grafik yang menunjukkan angka kekerasan pada daerah lasan tersebut dapat di bawah ini.

### **Pengaruh preheating pada ukuran dan distribusi grafit**

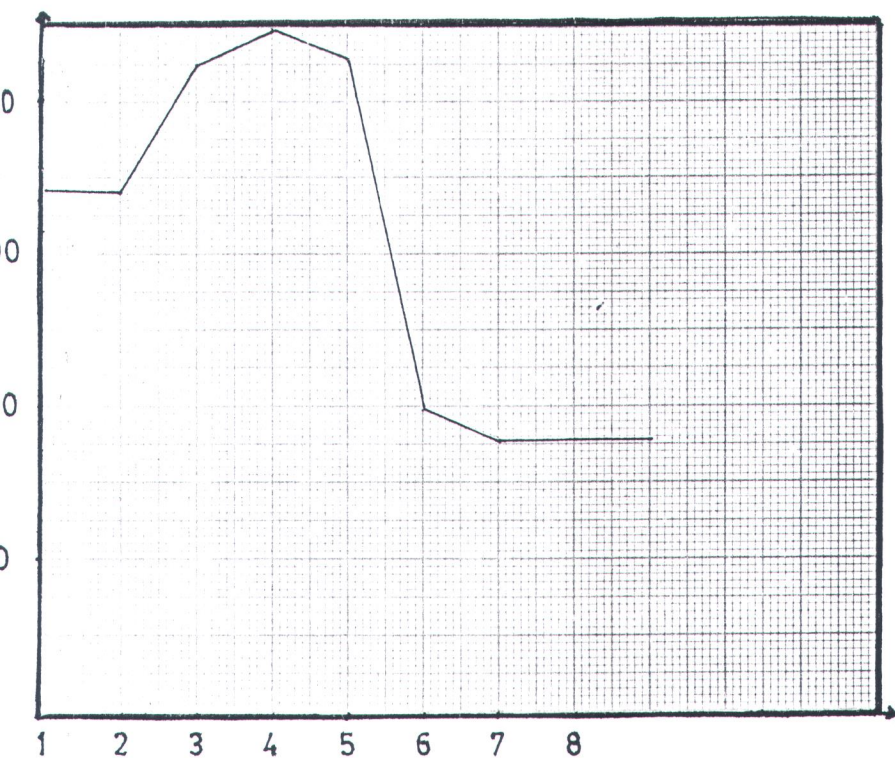
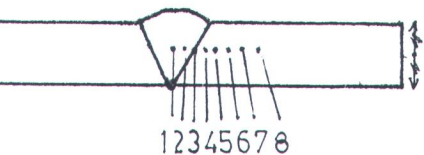
Pada pengamatan mikrografi untuk kedua daerah lasan tersebut untuk kedua dur pengelasan yaitu pengelasan tanpa pemanasan mula dan variasi temperatur pemanasan mula sebesar  $225^{\circ}\text{F}$ ,  $450^{\circ}\text{F}$ , dan  $600^{\circ}\text{F}$  dapat di rangkai sebagai berikut :

Pada logam lasan, grafit yang terbentuk terdistribusi secara merata. Ukuran berubah sesuai dengan kecepatan pendinginan. Pada spesimen 1, spesimen 2, spesimen 3 dan spesimen 4 terlihat bahwa grafit semakin berkurang dan serpihan grafit semakin kecil-kecil dengan ukuran 7 dan 8.

Pada daerah HAZ, serpihan grafit yang timbul semakin berkurang dan ukuran serpihan semakin besar.

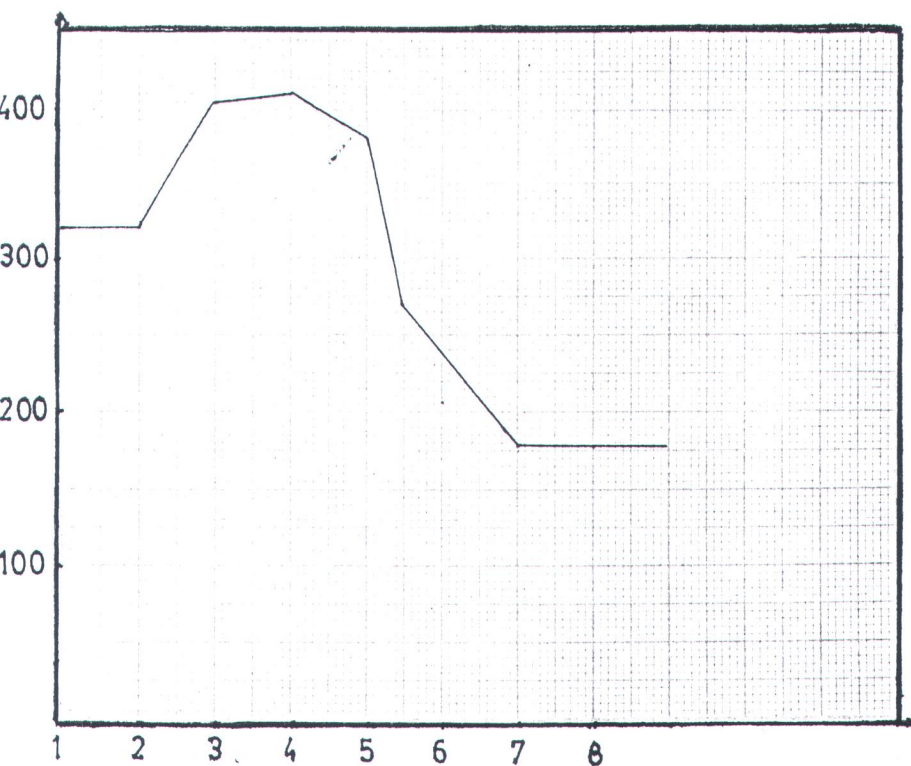
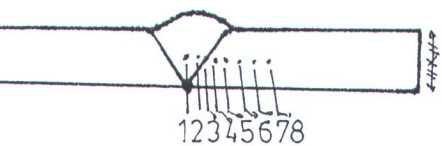
### **Analisis data**

Dari data yang diperoleh maka dapat dikelompokkan untuk ketiga sample dalam penelitian tersebut untuk mempermudah melihat adanya perbedaan yang terjadi. Tabel



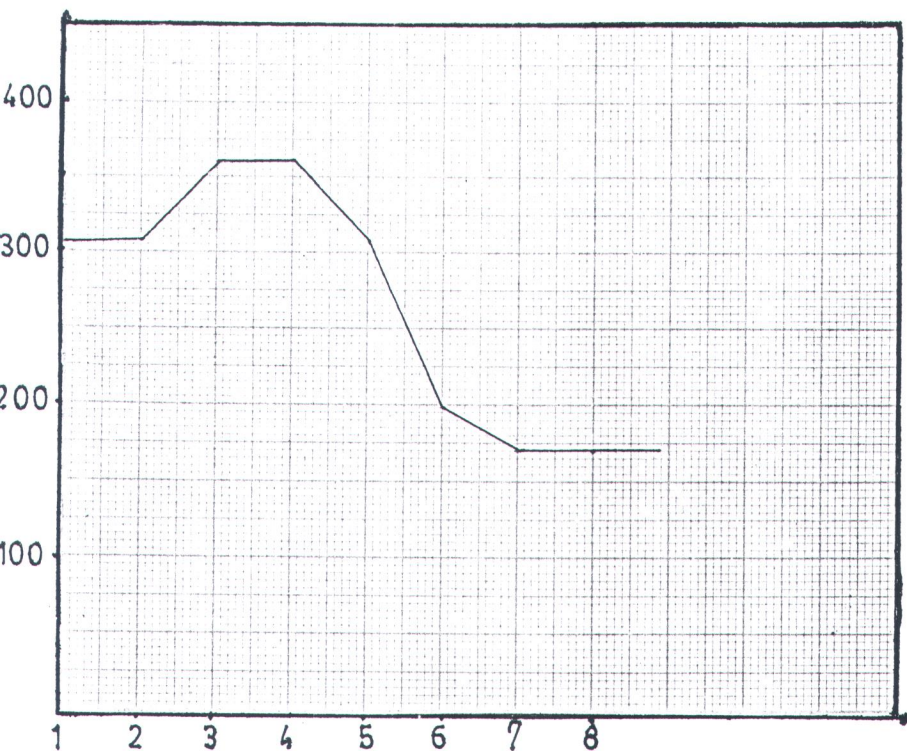
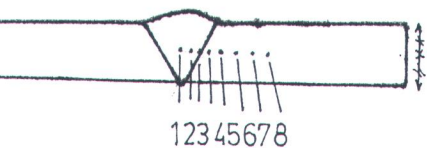
pesimen 1

Lokasi test	Jarak dari 1 mm	Angka kekerasan rata-rata BHN
Logam lasan	0,0	341



Spesimen 2

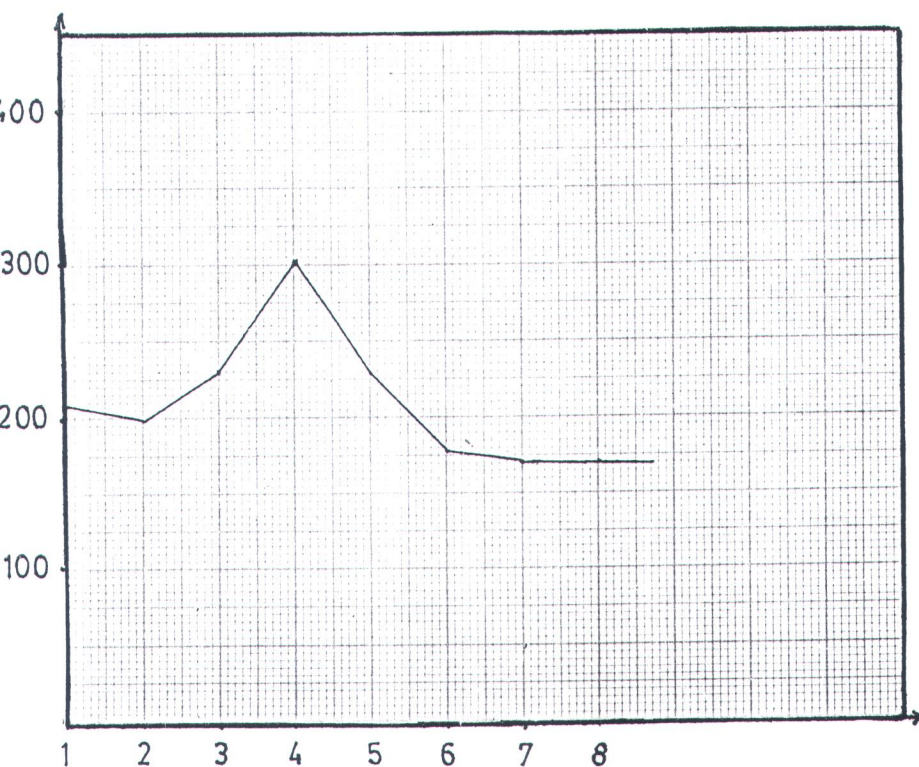
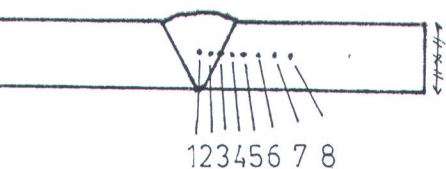
Lokasi test	Jarak dari 1 mm	Angka kekerasan rata-rata BHN
Logam lasan	0,0	320



Spesimen 3

Lokasi test	Jarak dari 1 mm	Angka kekerasan rata-rata BHN
Logam lasan	0,0	305



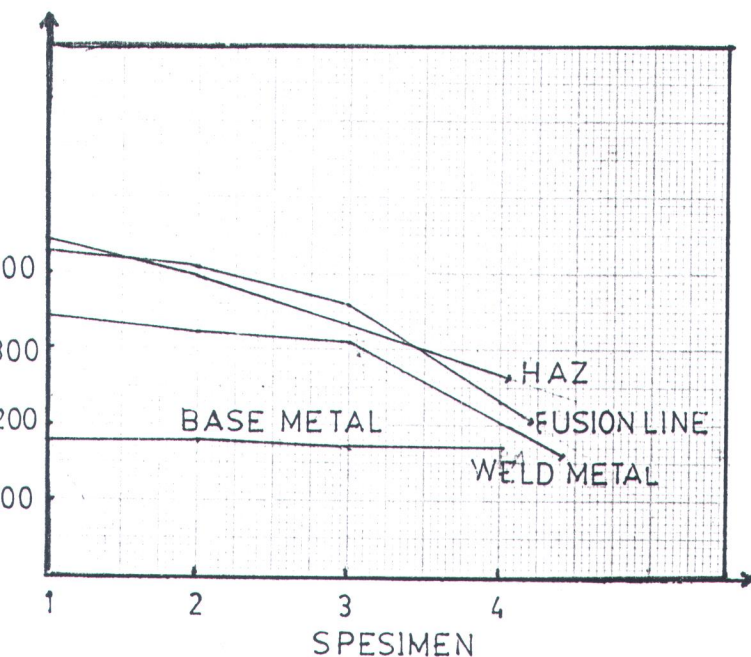


Spesimen 4

Lokasi test	Jarak dari 1 mm	Angka kekerasan rata-rata BHN
Logam lasan	0,0	207



ila dari keempat grafik di atas diletakkan dalam bersamaan dalam satu tempat grafik tersebut menunjukkan adanya keempat daerah lasan (weld metal, fusion line, HAZ, dan base metal) maka dapat dilihat adanya alur kekerasan.



Gambar 6.9 Grafik kekerasan rata-rata pada keempat daerah lasan

andangkan untuk data mengenai lebar daerah HAZ yang disertai perubahan mikro fase akhir setelah pengelasan disajikan dalam tabel 5.5.

lisa

analisa perubahan struktur mikro dan sifat mekanik pada daerah lasan

Induk

Dari pengamatan seperti terdapat dalam lampiran B, pada spesimen 1, 2, 3, dan 4, secara umum adalah sama yaitu fase perlit dan fase ferit dengan diselingi grafit yang tersebar antara perlit (tampak gelap) dan ferit (tampak terang) dengan butiran yang tidak jauh berbeda dengan keadaan sewaktu coran tersebut dibuat.

Sedangkan dari uji kekerasan diperoleh nilai kekerasan rata-rata dari spesimen 1 sebesar 178 BHN, spesimen 2 sebesar 178 BHN, spesimen 3 sebesar 170 BHN dan spesimen 4 sebesar 170 BHN. Hasil ini menunjukkan bahwa logam induk tidak banyak mengalami perubahan nilai kekerasan yang berarti.

Oleh karena itu, sehingga dari hasil pengamatan ini dapat diambil dikatakan bahwa logam induk tidak banyak mengalami perubahan, walaupun mendapat perlakuan panas pada proses lasan.

Dari pengamatan pada daerah pengaruh panas (HAZ), diperoleh perubahan

Sedangkan dari uji kekerasan diperoleh nilai kekerasan rata-rata untuk spesimen 1 sebesar 439 BHN, spesimen 2 sebesar 395 BHN, spesimen 3 sebesar 335 BHN, dan spesimen 4 sebesar 265,5 BHN. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh preheating terhadap nilai kekerasan dan ukuran butir fase pada daerah pengaruh panas (HAZ) semakin besar sekali.

### Logam

Dari pengamatan pada logam lasan juga diperoleh adanya perubahan struktur mikro yang berbeda, terutama terlihat jelas adanya perubahan struktur grafit yang semakin memanjang dan besar untuk preheating yang semakin tinggi. Hal ini juga menunjukkan perubahan pada struktur fase perlit dan ferit dengan ukuran butir yang besar.

Sedangkan dari pengujian kekerasan diperoleh adanya perubahan nilai kekerasan yang berbeda. Nilai kekerasan rata-rata untuk spesimen 1 sebesar 340,5 BHN, spesimen 2 sebesar 320 BHN, spesimen 3 sebesar 306,5 BHN dan spesimen 4 sebesar 202 BHN. Dari adanya nilai kekerasan rata-rata ini dapat dikatakan bahwa dalam logam lasan semakin tinggi preheating yang menghasilkan kekerasan yang rendah.

**Analisis keterkaitan struktur fase dan sifat mekanik**

ganda berfase ferit dan perlit. Tampak struktur mikro fase dan struktur grafit bentuk memiliki bentuk yang halus dan distribusi yang merata (lihat lampiran). Uji pengujian kekerasan dapat memberikan kekerasan yang tinggi. Hal ini dapat diartikan sebagai berikut :

Pada kecepatan pendinginan yang besar karbon tidak mempunyai kesempatan untuk berdifusi lebih lama dan menempuh jarak lebih panjang, sehingga terbentuk fase ferit dan perlit halus yang menghasilkan kekerasan tinggi. Seperti diketahui bahwa perlit mengandung karbida berbentuk lamel yang berada pada matrik fase ferit. Partikel karbida yang halus menghambat deformasi plastis matrik ferit yang lunak dan ulet. Besarnya kekerasan berbanding lurus dengan kontak antara ferit dan karbida persatuan volume. Dari hal-hal di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa karbida yang halus menghasilkan struktur mikro yang halus.

Pada prosedur kedua yaitu pengelasan dengan perlakuan panas. Dengan adanya perlakuan panas mula akan sangat berpengaruh pada kecepatan pendinginannya, yaitu semakin rendah pendinginan yang semakin rendah. Struktur yang terbentuk sama dengan fase perlit dan ferit, tetapi bentuk dan distribusi berbeda yaitu bentuknya lebih halus dan distribusinya kurang merata. Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa pada pendinginan yang rendah karbon mempunyai kesempatan untuk berdifusi



etapi bentuk dan distribusi fase yang berbeda akan memberikan sifat yang an.

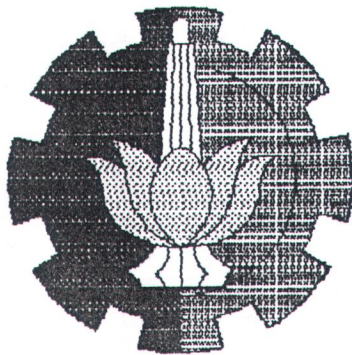
analisa keterkaitan struktur mikro, sifat mekanik dan perlakuan panas

Hasil pengamatan mikrografi dari tiap-tiap perlakuan panas mendapatkan han dan distribusi fase pada daerah yang terpengaruh panas. Pada pengelasan perlakuan panas didapatkan bentuk struktur fase yang halus pada daerah HAZ. ang halus ini menghasilkan kekerasan pada logam sebesar 439 BHN. Jadi dengan ndingin yang besar akan mengakibatkan struktur fase menjadi halus, dengan ya struktur yang terbentuk akan mempertinggi kekerasan atau sifatnya menjadi

Dengan penambahan panas pada proses pengelasan akan memperlambat laju ginan, sehingga terdapat waktu bagi fase untuk tumbuh. Bentuk fase yang besar logam induk yang terpengaruh panas ini akan menghasilkan penurunan kekerasan ingkan pada fase yang halus. Jadi keuntungan dengan pemberian panas mula enurunkan kekerasan/sifat getas.

Dengan laju pendinginan yang besar akan menghasilkan bentuk fase yang halus. ang dihasilkan oleh bentuk struktur ini adalah keras. Sedangkan laju pendinginan





**BAR VII**

## **BAB VII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **kesimpulan**

Pada tugas akhir ini diteliti perubahan struktur mikro dan sifat mekanik perlakuan panas pada hasil las besi cor kelabu. Dari hasil pengamatan dan penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemberian panas mula tidak terlalu berpengaruh terhadap logam induk, karena perubahan yang terjadi tidak terlalu berarti bila ditinjau dari struktur mikro dan nilai kekerasannya.
2. Pertambahan temperatur panas mula akan mengurangi pembentukan struktur karbida bebas (sementit) pada daerah HAZ, sehingga akan menurunkan nilai kekerasan rata-rata pada daerah HAZ.
3. Pemanasan mula pada temperatur 600° F menghasilkan struktur las yang optimal dengan nilai kekerasan rata-rata pada logam induk sebesar 170 BHN, HAZ sebesar 265.5 BHN, dan logam las sebesar 202 BHN.

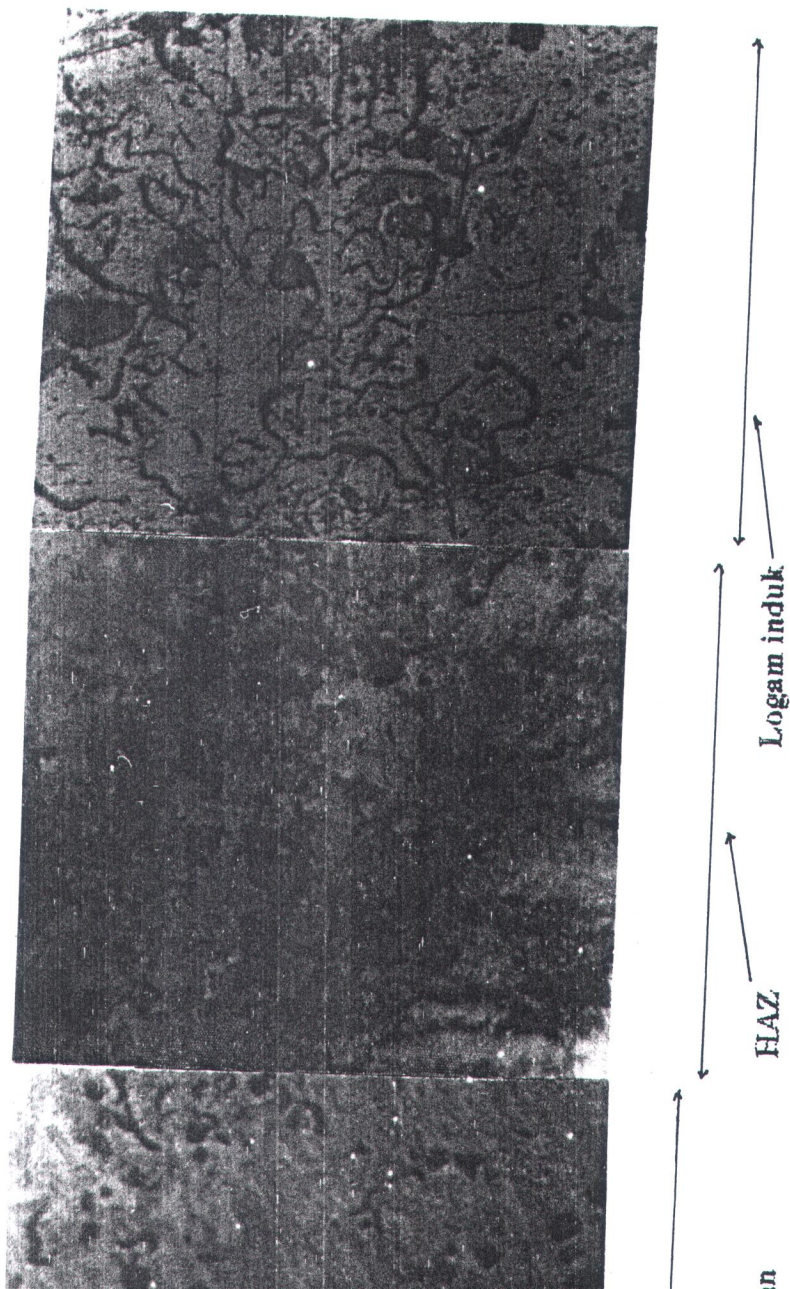
1. Hasil penelitian ini perlu dilengkapi dengan adanya uji radiografi guna mengetahui adanya retak di dalam logam las (weld metal) .

Parameter dalam pengelasan besi cor banyak sekali, dimana berpengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. Parameter-parameter itu antara lain komposisi kimia besi cor, elektroda, kecepatan dan aruh pengelasan.

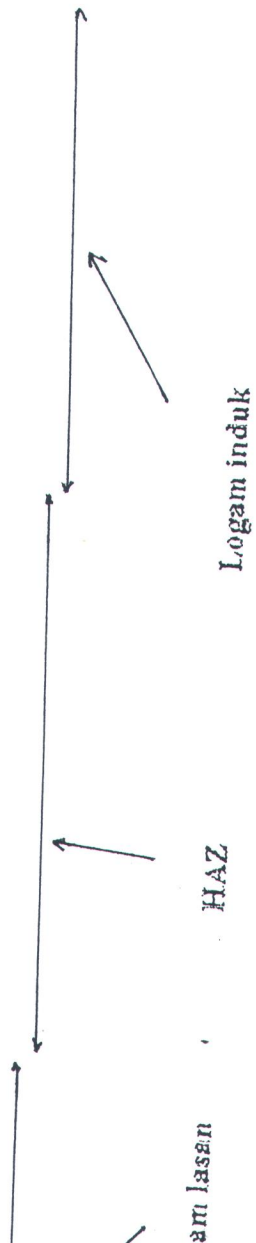
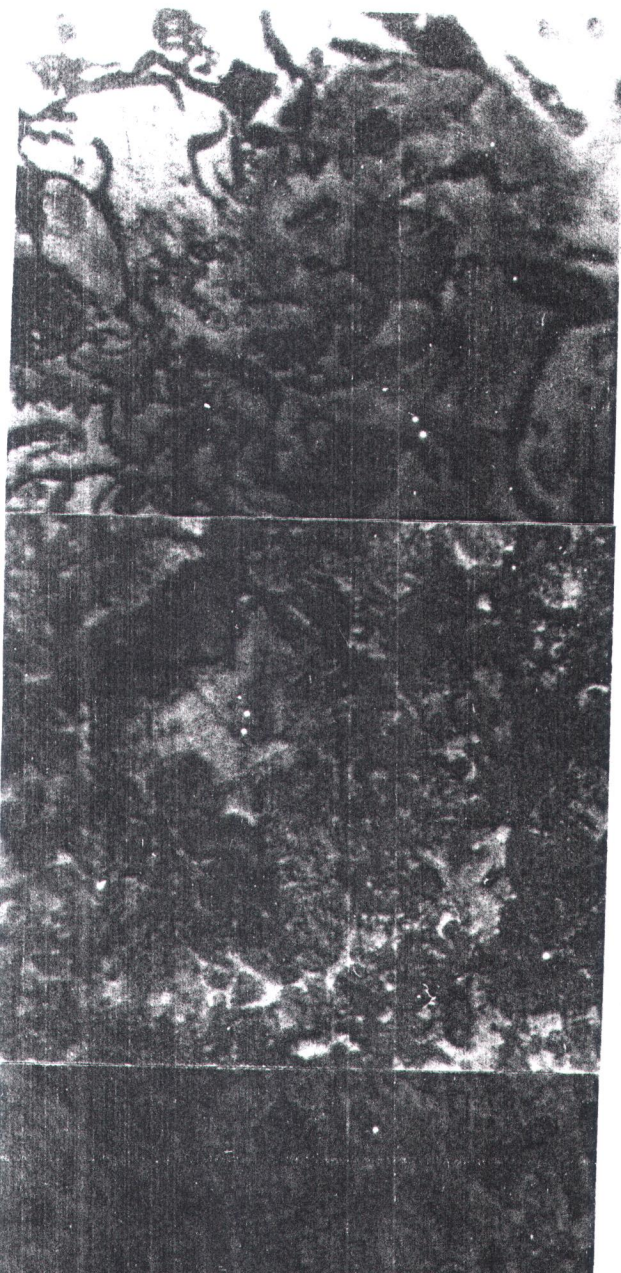
# Lampiran A

	Composition, %					Average carbon equivalent	Brinell hardness number	Transverse load, lb	Transverse deflection, in.	Tensile strength, psi
	TO	Si	P	S	Mn					
.....	3.50	2.40	0.20	0.08	0.50	4.56	160	900	0.10	22,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	to	to
test bar	3.80	2.60	0.80	0.13	0.70	...	200	1200	0.15	26,000
.....	3.40	2.30	0.20	0.08	...	4.34	160	1600	0.20	18,000
section, to	to	to	to	to	...	...	to	to	to	to
test bar	3.60	2.50	0.60	0.80	...	...	180	2200	0.27	24,000
.....	3.10	2.20	0.20	0.08	0.50	3.98	130	4500	...	18,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	...	to
test bar	3.30	2.40	0.40	0.13	0.80	...	180	6500	...	22,000
.....	3.30	2.20	0.20	0.08	0.50	4.20	160	950	0.11	26,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	to	to
test bar	3.50	2.40	0.50	0.13	0.80	...	180	1300	0.16	29,000
.....	3.20	2.20	0.15	0.08	0.50	4.08	172	1800	0.22	26,000
section, to	to	to	to	to	to	...	to	to	to	to
test bar	3.40	2.40	0.40	0.12	0.80	...	207	2400	0.28	29,000
.....	3.00	1.90	0.15	0.08	0.50	3.82	179	6000	...	26,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	...	to
test bar	3.30	2.20	0.25	0.12	0.80	...	217	7800	...	30,000
.....	3.20	2.10	0.15	0.08	0.50	4.03	179	1250	...	30,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	...	to
test bar	3.40	2.30	0.30	0.12	0.80	...	228	1500	...	34,500
.....	3.10	2.10	0.15	...	...	3.92	...	...	...	.....
section, to	to	to	to	...	...	...	...	...	...	.....
test bar	3.30	2.30	0.25	...	...	...	...	...	...	.....
.....	2.90	1.70	0.15	0.08	0.45	3.68	207	6500	...	30,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	...	to
test bar	3.20	2.10	0.25	0.12	0.70	...	228	8200	...	34,500
.....	3.10	2.00	0.15	0.08	0.45	3.90	179	1150	...	36,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	...	to
test bar	3.30	2.20	0.30	0.12	0.70	...	228	1450	...	40,000
.....	3.00	1.80	0.15	0.07	0.46	3.77	207	2300	0.25	35,000
section, to	to	to	to	to	to	...	to	to	to	to
test bar	3.25	2.10	0.25	0.12	0.70	...	228	3000	0.35	39,000
.....	2.80	1.60	0.10	0.06	0.45	3.54	183	7500	0.32	35,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	to	to
test bar	3.10	2.00	0.20	0.12	0.70	...	217	9000	0.38	38,000
.....	3.00	1.90	0.10	0.07	0.45	3.77	212	1275	...	42,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	...	to
test bar	3.20	2.20	0.25	0.12	0.65	...	241	1550	...	46,000
.....	2.95	1.70	0.10	0.06	0.45	3.65	207	2500	0.25	40,000
section, to	to	to	to	to	to	...	to	to	to	to
test bar	3.15	2.00	0.20	0.11	0.70	...	241	3400	0.35	47,000
.....	2.75	1.50	0.07	0.05	0.50	3.42	180	8400	0.30	41,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	to	to
test bar	3.00	1.90	0.15	0.12	0.70	...	217	9800	0.38	45,000
.....	2.90	1.70	0.10	0.06	0.50	3.62	228	1600	...	51,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	...	to
test bar	3.10	2.10	0.20	0.12	0.70	...	269	1800	...	55,000
.....	2.70	1.70	0.10	0.06	0.60	3.45	228	3000	0.28	50,000
section, to	to	to	to	to	to	...	to	to	to	to
test bar	3.00	2.00	0.20	0.11	0.80	...	269	4000	0.34	57,000
.....	2.55	1.40	0.07	0.06	0.60	3.20	207	10,000	0.38	50,000
tion, to	to	to	to	to	to	...	to	to	to	to
test bar	2.85	1.70	0.15	0.11	0.80	...	241	12,500	0.48	54,000

## Lampiran B

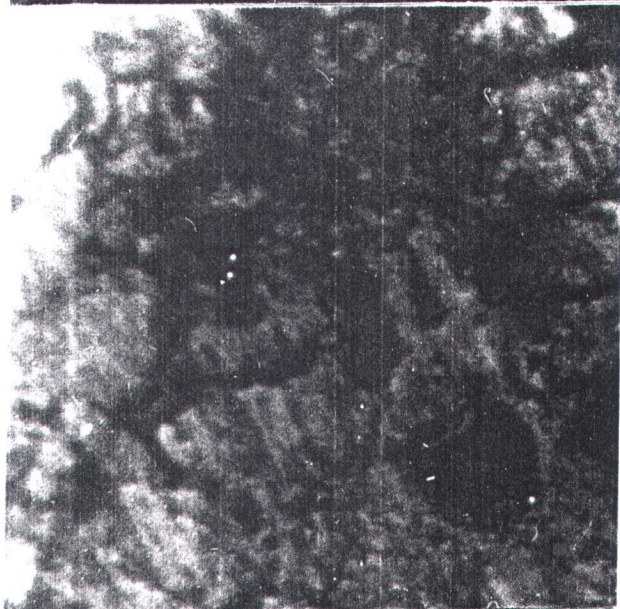




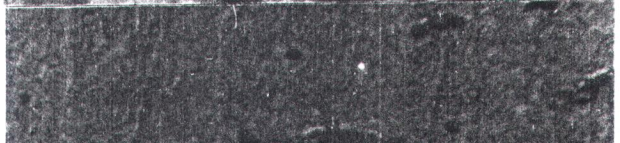




Logam induk



HAZ



Logam lasan

nen 3





Logam lasan

HAZ

Logam induk

## DAFTAR PUSTAKA

- Avner, Sidney H, " *Introduction to Physical Metallurgy* " , Second Edition, Mc. Graw-Hill Inc., New York, 1974.
- Amir Bachrun, " *Analisis Pengaruh Keterkaitan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja SCMn 3A Akibat Pengaruh Pengerjaan Panas* ", Tugas Akhir, T. Fisika/FTI, ITS, 1995.
- Harry, Howard B, " *Modern Welding Technology* ", Second Edition, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1979.
- Suprijatno, Sriati dan Van Vlack, Lawrence H, " *Ilmu dan Teknologi Bahan* ", Edisi Kelima, Penerbit Erlangga Jakarta, 1989.
- Jeffries, Larry, " *Welding Principles and Applications* " , Third Edition, McGraw-Hill, Publisher, New York, 1993.
- Metals Handbook Vol. 1, " *Properties and Selection of Metals* " , 8th Edition, American Society for Metals, 1961.
- Metals Handbook Vol. 6, " *Welding and Brazing* ", 8th Edition, American Society for Metals, 1975.

Welding Handbook, Vol. 4," *Metals and Their Weldability* ", 8th Edition, American Welding Society, Florida, 1978.

Wiryo Sumarto H, dan Okumura, " *Teknologi Pengelasan Logam* ", Penerbit Graha Paramita, Jakarta, 1981.